

## **Historic, Archive Document**

Do not assume content reflects current  
scientific knowledge, policies, or practices.











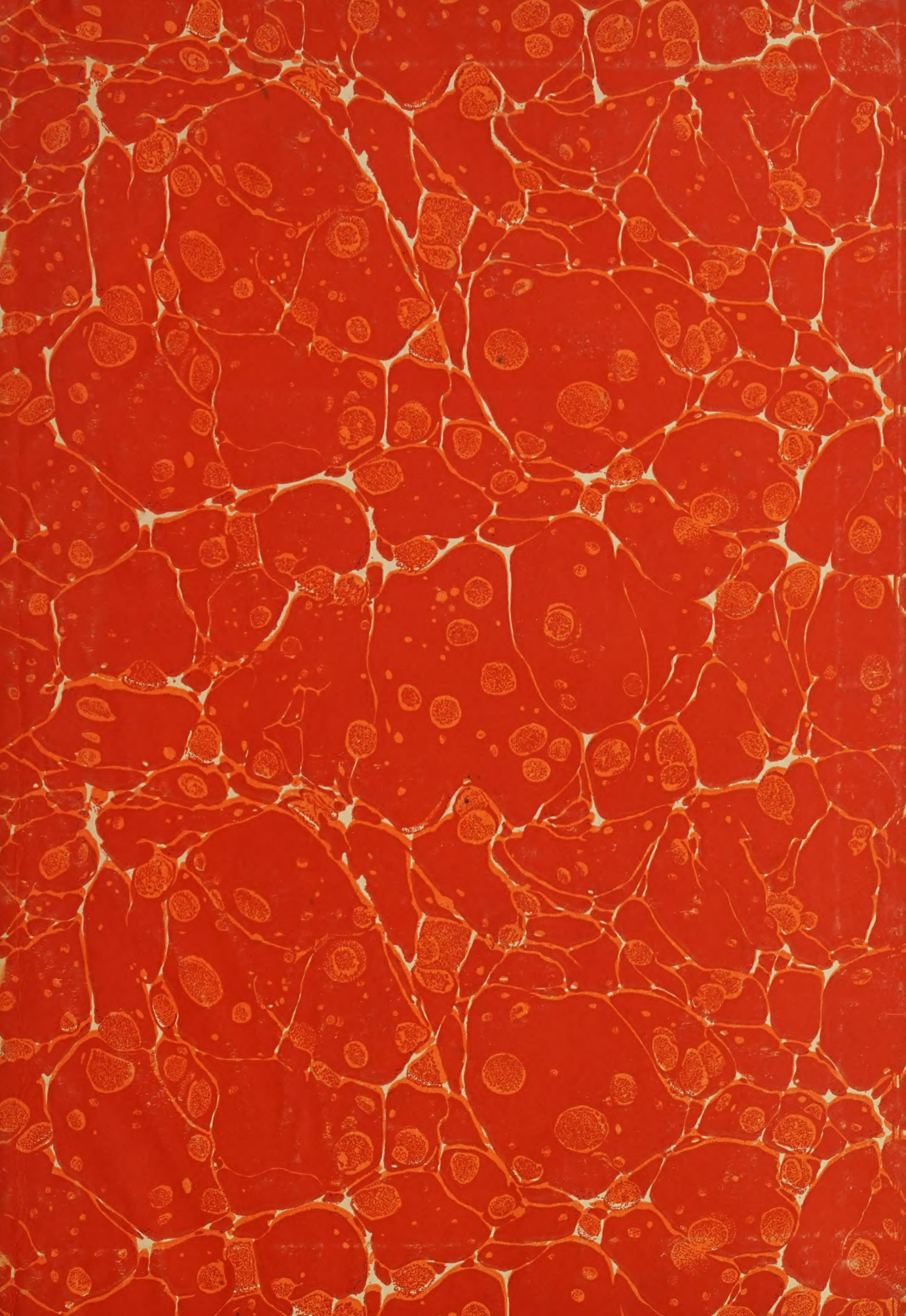
LIBRARY  
OF THE  
UNITED STATES  
DEPARTMENT OF AGRICULTURE

Class 474

Book N213  
v. 10, 1922

9-1577







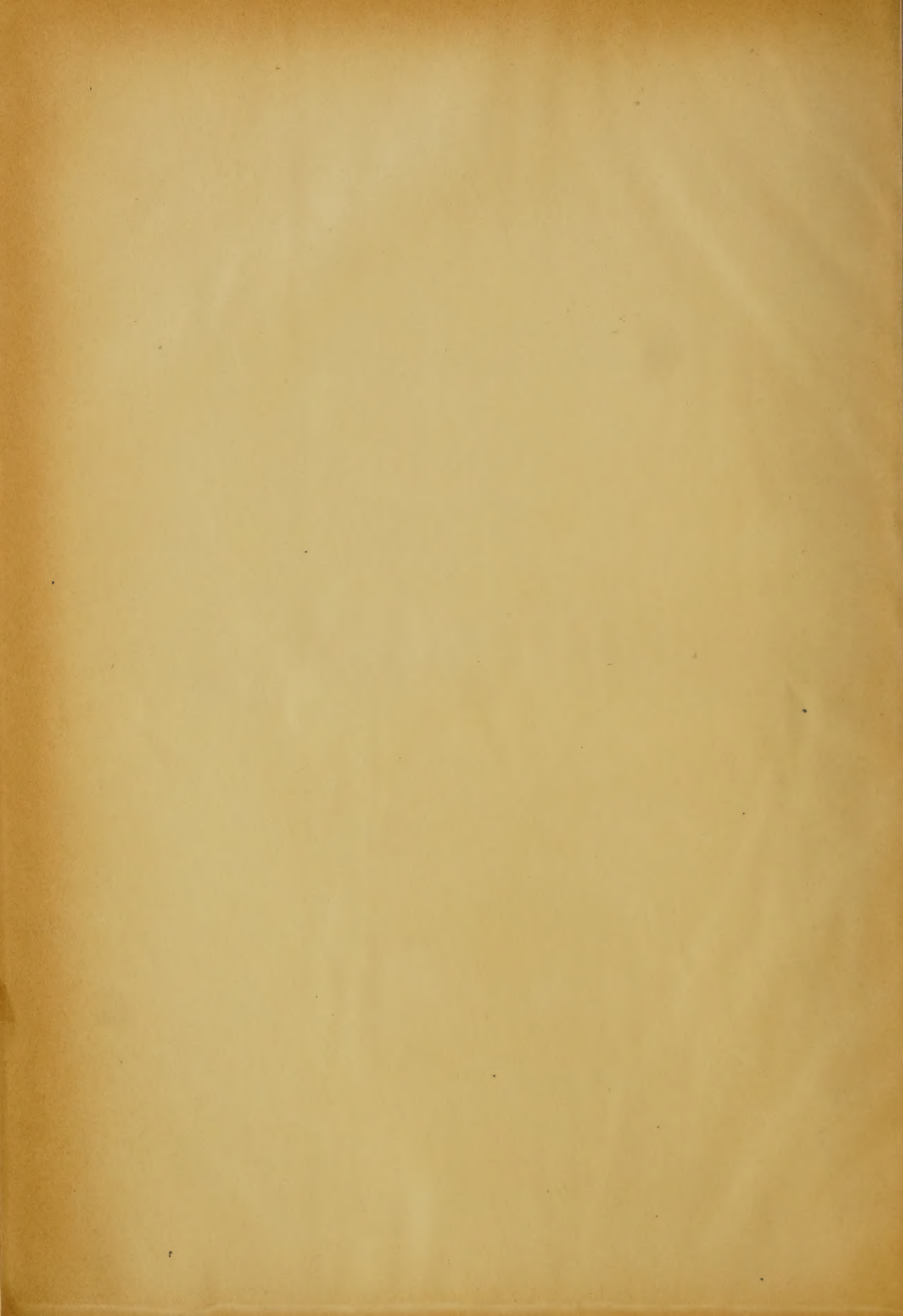














# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte  
der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

Herausgegeben

von

**Arnold Berliner**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. Braus** in Würzburg

---

Zehnter Jahrgang 1922



BERLIN  
Verlag von Julius Springer  
1922





## Originalaufsätze und Berichte.

### Allgemeines und Philosophie.

- Elze, C., Die anatomischen Vorschriften für den bildenden Künstler in Leonardo da Vincis Traktat von der Malerei. S. 1065.  
 Gerhards, Karl, Der mathematische Kern der Außenwéltschypothese. S. 423, 446.  
 Nernst, W., Zum Gültigkeitsbereich der Naturgesetze. S. 489.  
 Uexküll, J. v., Wie sehen wir die Natur und wie sieht sie sich selber. S. 265, 296, 316.

### Mathematik.

- Bernays, Paul, Die Bedeutung Hilberts für die Philosophie der Mathematik. S. 93.  
 Bieberbach, Ludwig, Über Nomographie. S. 775.  
 Blumenthal, Otto, David Hilbert. S. 67.  
 Born, M., Hilbert und die Physik. S. 88.  
 Courant, R., Hilbert als Analytiker. S. 83.  
 Dehn, M., Hilberts geometrisches Werk. S. 77.  
 Siegel, Karl, Verzeichnis der bisherigen Publikationen von David Hilbert (nebst kurzen Inhaltsangaben). S. 99.  
 Toeplitz, O., Der Algebraiker Hilbert. S. 73.

### Astronomie.

- Bauschinger, Julius, Die astronomische Festlegung des Trägheitssystems. S. 1005.  
 Bernheimer, W. E., C. V. L. Charliers Untersuchungen über den Aufbau einer unendlichen Welt. S. 481.  
 Hopmann, J., Neue Forschungen über die kosmischen Nebelflecke. S. 7.  
 Kienle, Hans, Die Bewegung der vier inneren Planeten mit besonderer Berücksichtigung der Bewegung des Merkurperihels. S. 217, 246.  
 — Die räumliche Dichteverteilung im Sternsystem. S. 679.  
 Pannekoek, A., J. C. Kapteyn und sein astronomisches Werk. S. 967.  
 Prey, A., Über Hörbigers Glazialkosmogonie. S. 585.

### Reine und technisch angewandte Physik.

- Bär, R., Der Streit um das Elektron. S. 322, 344.  
 Baeyer, O. v., Die Entdeckung der langwelligen Strahlung des Quecksilberdampfes durch Rubens. S. 1027.  
 Bauschinger, Julius, Die astronomische Festlegung des Trägheitssystems. S. 1005.  
 Boresch, Karl, Photokatalysen in Pflanzen. S. 505.  
 Debye, P., Laue-Interferenzen und Atombau. S. 384.  
 Einstein, Albert, Emil Warburg als Forscher. S. 823.  
 Fraenkel, W., Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde. S. 997.  
 Franck, J., und R. Pohl, Rubens und die Quantentheorie. S. 1030.  
 Friedrich, W., Die Geschichte der Auffindung der Röntgenstrahlinterferenzen. S. 363.  
 Groebbels, Franz, Der Vogelflug als anatomisch-physiologisches Problem. S. 988.  
 Gundlach, K., Über die Herstellung spiegelnder Oberflächen. S. 117.  
 Haber, Fritz, Über die Darstellung des Ammoniaks aus Stickstoff und Wasserstoff. S. 1041.  
 Hahn, Otto, Über die von der Deutschen Atomgewichtskommission herausgegebene Tabelle der „Chemischen Elemente und Atomarten“. S. 934.  
 Hecht, H., Über die Lokalisation von Schallquellen. S. 107.  
 Hertz, G., Rubens und die Maxwellsche Theorie. S. 1024.  
 Hettner, G., Die Bedeutung von Rubens Arbeiten für die Plancksche Strahlungsformel. S. 1033.  
 — Verzeichnis der von Rubens veröffentlichten Arbeiten. S. 1038.  
 Jakob, Max, Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1921. S. 669.  
 Kármán, Th. von, Über den motorlosen Flug. S. 121.  
 Knipping, Paul, Zehn Jahre Röntgenspektroskopie. S. 366.  
 Kögel, G. R., Die Palimpsestphotographie. S. 940.  
 Köllner, H., Wie wir rechts- und linksäugige Eindrücke unterscheiden. S. 512.  
 Lüscher, E., Über die mechanischen Probleme der Herztätigkeit. S. 34.  
 Masing, G., Das Aufreißen von kaltgereckten Kupferlegierungen. S. 1079.  
 — Über einige Aluminiumlegierungen. S. 1108.  
 Meitner, Lise, Über die Wellenlänge der  $\gamma$ -Strahlen. S. 381.

- Meyer, R. J., Atomgewichtsfragen. S. 911.  
 Michel, E., Über Hörsamkeitsstudien. S. 420.  
 Mises, R. v., Über die gegenwärtige Krise der Mechanik. S. 25.  
 Niggli, Paul, Die Bedeutung des Lauediagramms für die Kristallographie. S. 391.  
 Polanyi, M., Röntgenographische Bestimmung von Kristallanordnungen. S. 411.  
 Prandtl, L., Die Aerodynamische Versuchsanstalt und ihre Bedeutung für die Technik. S. 169.  
 Pulfrich, C., Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie. S. 553, 569, 596, 714, 735, 751.  
 Regener, E., Rubens und die Experimentierkunst. S. 1021.  
 Runge, C., Über den Segelflug. S. 879.  
 Schiebold, E., Beiträge zur Auswertung der Lauediagramme. S. 399.  
 Smekal, Adolf, Technische Festigkeit und molekulare Festigkeit. S. 799.  
 Sonnefeld, A., Die Fernrohre nach Kepler und nach Galilei — ein Vergleich. S. 653.  
 Späth, W., Zur Kenntnis des Selens. S. 14.  
 Waetzmann, E., Die Resonanztheorie des Hörens. Ihre Entwicklung und ihr gegenwärtiger Stand. S. 542.  
 Weigert, Fritz, Ein photographisches und optisches Standardwerk. (E. Goldberg, Der Aufbau des photographischen Bildes.) S. 861.  
 Wenger, R. †, Helmholtz als Meteorologe. S. 198.  
 Wentzel, Gregor, Bericht über neuere Ergebnisse der Röntgenspektroskopie. S. 369.  
 — Röntgenspektren und chemische Valenz. S. 464.  
 Westphal, W. M., Heinrich Rubens. S. 1017.

### Reine und technisch angewandte Chemie und physikalische Chemie.

- Asher, Leon, Die Bedeutung der physikalischen Chemie für die Biologie mit besonderer Berücksichtigung von Nernsts Theoretischer Chemie. S. 193.  
 Auerbach, Friedrich, Die Süßkraft der künstlichen Süßstoffe. S. 710.  
 — Hauptversammlung der Deutschen Bunsengesellschaft. S. 1052.  
 Bayliss, W. M., Enzyme als Kolloide. S. 983.  
 Bergmann, Max, Über die Bildung der Glucoside. S. 838.  
 Ebert, Ludwig, Der Aufbau metallisch leitender Stoffe. S. 964.  
 Haber, Fritz, Über die Darstellung des Ammoniaks aus Stickstoff und Wasserstoff. S. 1041.  
 Hahn, Otto, Über die von der Deutschen Atomgewichtskommission herausgegebene Tabelle der „Chemischen Elemente und Atomarten“. S. 934.  
 Kegel, K., Aufbereitung und wirtschaftliche Verwendung der Kohlen, insbesondere der Braunkohlen. S. 855, 882.  
 Kossel, Albrecht, Über physiologische Umformung von Eiweißkörpern. S. 999.  
 Lasareff, P., Die physikalisch-chemische Theorie der Reizung. S. 1123.  
 Masing, G., Wachstum und Auflösung von Kristallen. S. 899.  
 — Das Aufreißen von kaltgereckten Kupferlegierungen. S. 1079.  
 — Über einige Aluminiumlegierungen. S. 1108.  
 Meyer, R. J., Atomgewichtsfragen. S. 911.  
 Rahn, Otto, Die Anwendung von Reinkulturen der Mikroorganismen in Industrie und Landwirtschaft. S. 241.  
 Romeis, Benno, Über die neuen Methoden S. Bechers zur Echtfärbung der Zellkerne mit künstlichen Beizenfarbstoffen. S. 733.  
 Schoeller, W., Die biochemische Bedeutung der organischen Quecksilberverbindungen. S. 1071.  
 Späth, W., Zur Kenntnis des Selens. S. 14.  
 Stiasny, E., Über die Vorgänge bei der Lederbereitung. S. 175.  
 Thunberg, Torsten, Besteht ein genetischer Zusammenhang zwischen dem eingeatmeten Sauerstoff und dem Sauerstoff der ausgeatmeten Kohlensäure? S. 417.  
 Weigert, Fritz, Ein photographisches und optisches Standardwerk. (E. Goldberg, Der Aufbau des photographischen Bildes.) S. 861.  
 Wentzel, Gregor, Röntgenspektren und chemische Valenz. S. 464.

### Geographie und Meteorologie.

- Brandt, B., Über geomorphologische Restformen und ihre Bedeutung für die Abtragung der Erdoberfläche. S. 1103.  
 Harms, H., Georg Schweinfurths Forschungen über die Geschichte der Kulturpflanzen. S. 1113.  
 Knoch, K., Die Vorhersage der Reisernte in Nord-Japan. S. 993.  
 Kuhlbrodt, Erich, Über die Polarfronttheorie nach Bjerknes und die neueren Anschauungen von den atmosphärischen Vorgängen. S. 495.



- Prey, A., Über Hörbigers Glazialkosmogonie. S. 585.  
 Roux, Wilhelm, Der blaue Himmelsraum ist in Wirklichkeit blendend goldig bei Tag, silbern bei Nacht. S. 152.  
 Süring, R., Julius von Hann. S. 49.  
 Wenger, R. †, Helmholtz als Meteorologe. S. 198.

### Geologie und Mineralogie.

- Brandt, B., Über geomorphologische Restformen und ihre Bedeutung für die Abtragung der Erdoberfläche. S. 1103.  
 Broch, Hjalmar, Riffkorallen im Nordmeer einst und jetzt. S. 804.  
 Bubnoff, S. von, Über die Lebensweise und das Aussterben der Ammoniten. S. 687.  
 — Der gegenwärtige Stand der geologischen Forschung: Der innere Kräftehaushalt der Erde. S. 782, 806.  
 Ehrenberg, K., Die Tagung der paläontologischen Gesellschaft in Tübingen vom 9. bis 13. August 1922. S. 925.  
 Goldschmidt, V. M., Über die metasomatischen Prozesse in Silikatgesteinen. S. 145.  
 — Über die Massenverteilung im Erdinnern, verglichen mit der Struktur gewisser Meteoriten. S. 918.  
 Höfer von Heimhalt, Hans, Die Entstehung des Torfes und der Kohle. S. 113.  
 Masing, G., Wachstum und Auflösung von Kristallen. S. 889.  
 Niggli, Paul, Die Bedeutung des Lauediagramms für die Kristallographie. S. 391.  
 Polanyi, M., Röntgenographische Bestimmung von Kristallanordnungen. S. 411.  
 Schiebold, E., Beiträge zur Auswertung der Lauediagramme. S. 399.

### Allgemeine Biologie und Physiologie.

- Asher, Leon, Theoretische Biologie und biologisches Weltbild. S. 473.  
 Baur, E., Die Bedeutung der Mendelschen Gesetze für die Pflanzenzüchtung. S. 645.  
 Bayliss, W. M., Enzyme als Kolloide. S. 983.  
 Braun, Fritz, Vom Seelenleben gefangener Vögel. S. 833.  
 Braus, Hermann, Neuere Ergebnisse der Gliedmaßenfropfungen: Umwandlung eines rechten Beines in ein linkes. S. 457, 477.  
 Broch, Hjalmar, Riffkorallen im Nordmeer einst und jetzt. S. 804.  
 Buchner, Paul, Über das tierische Leuchten. S. 1, 30.  
 — Haemophagie und Symbiose. S. 703.  
 Correns, C., Etwas über Gregor Mendels Leben und Wirken. S. 623.  
 — Alkohol und Zahlenverhältnis der Geschlechter bei einer getrenntgeschlechtigen Pflanze (Melandrium). S. 1049.  
 Drost, Rudolf, Das Laichgebiet des Aales. Bericht über die Arbeit von Dr. Joh. Schmidt (Kopenhagen): The Breeding Places of the Eel. S. 1089.  
 Fischer, Eugen, Mendelforschung und menschliche Erblichkeitslehre. S. 640.  
 Goetsch, W., Hydra und Alge in neuer Zellsymbiose. S. 202.  
 — Symbiose und Artproblem bei Hydra. S. 867.  
 Goldschmidt, Richard, Zwei Jahrzehnte Mendelismus. S. 631.  
 Groebbels, Franz, Der Vogelflug als anatomisch-physiologisches Problem. S. 988.  
 Kestner, Otto, Überpflanzungen von Organen. S. 592.  
 Lasareff, P., Die physikalisch-chemische Theorie der Reizung. S. 1123.  
 Loewi, O., Über humorale Übertragbarkeit der Herznervenwirkung. S. 52.  
 Magnus, R., Otolithenfunktion und Körperstellung. S. 927.  
 Mangold, Ernst, Die Totenstarre. S. 895.  
 Moellendorff, W. v., Über die ersten Entwicklungsstufen des Menschen. S. 663.  
 Nachtsheim, Hans, Mendelismus und Tierzucht. S. 635.  
 Oehme, C., Über die Regulation des Wasserhaushaltes im Tierkörper und die Durstempfindung. S. 154.  
 Penners, Andreas, Über die Rolle von Kern und Plasma bei der Embryonalentwicklung. S. 727, 761.  
 Pinkus, Felix, Neue Befunde zur Entstehung des Haarkleides der Säugetiere. S. 521.  
 — Neuere Arbeiten über die Färbung der Säugetiere. S. 951.  
 Plaut, F., Serologie und Psychiatrie. S. 605.  
 Potthoff, Heinz, Zur Frage nach dem Vorkommen von Befruchtungsvorgängen bei Bakterien. S. 441.  
 Rahn, Otto, Die Anwendung von Reinkulturen der Mikroorganismen in Industrie und Landwirtschaft. S. 241.

- Romeis, Benno, Über die neuen Methoden S. Bechers zur Echtfärbung der Zellkerne mit künstlichen Beizenfarbstoffen. S. 733.  
 Schieman, Elisabeth, Die Phylogenie der Getreide. S. 133.  
 Schoeller, W., Die biochemische Bedeutung der organischen Quecksilberverbindungen. S. 1071.  
 Thunberg, Torsten, Besteht ein genetischer Zusammenhang zwischen dem eingeatmeten Sauerstoff und dem Sauerstoff der ausgeatmeten Kohlensäure? S. 417.  
 Ubisch, Leopold von, Über die Harmonie des tierischen Entwicklungsgeschehens. S. 271.  
 Wangerin, Walther, Die Grundfragen der Pflanzensoziologie. S. 574.  
 Warburg, Otto, und Erwin Negelein, Über den Energieumsatz bei der Kohlensäure-assimilation. S. 647.

### Botanik.

- Baur, E., Die Bedeutung der Mendelschen Gesetze für die Pflanzenzüchtung. S. 645.  
 Boresch, Karl, Photokatalysen in Pflanzen. S. 505.  
 Correns, C., Alkohol und Zahlenverhältnis der Geschlechter bei einer getrenntgeschlechtigen Pflanze (Melandrium). S. 1049.  
 Graebner, P., Erziehung der Zwergbäume. S. 181.  
 Harms, H., Georg Schweinfurths Forschungen über die Geschichte der Kulturpflanzen. S. 1113.  
 Popoff, Methodi, Die Stimulierung (Hebung) der Zellfunktionen und ihre landwirtschaftliche Bedeutung. S. 1128.  
 Wangerin, Walther, Die Grundfragen der Pflanzensoziologie. S. 574.  
 Warburg, Otto, und Erwin Negelein, Über den Energieumsatz bei der Kohlensäure-assimilation. S. 647.

### Zoologie.

- Abel, O., Neue Funde fossiler Menschenreste in Südafrika und Australien. S. 313.  
 Braun, Fritz, Neues vom Kuckuck. S. 183.  
 — Vorläufige Bemerkungen zu: Friedrich von Lucanus' Die Rätsel des Vogelzuges. S. 565.  
 — Vom Seelenleben gefangener Vögel. S. 833.  
 Braus, Hermann, Neuere Ergebnisse der Gliedmaßenpfropfungen: Umwandlung eines rechten Beines in ein linkes. S. 457, 477.  
 Buchner, Paul, Über das tierische Leuchten. S. 1, 30.  
 — Haemophagie und Symbiose. S. 703.  
 Drost, Rudolf, Das Laichgebiet des Aales. Bericht über die Arbeit von Dr. Joh. Schmidt (Kopenhagen): The Breeding Places of the Eel. S. 1089.  
 Ehrenberg, K., Die Tagung der paläontologischen Gesellschaft in Tübingen vom 9. bis 13. August 1922. S. 925.  
 Fischer, Eugen, Mendelforschung und menschliche Erbliehkeitslehre. S. 640.  
 Goetsch, Wilhelm, Symbiose und Artproblem bei Hydra. S. 867.  
 Goldschmidt, Richard, Zwei Jahrzehnte Mendelismus. S. 631.  
 Lubosch, W., Emil Selenka (Ein Gedenkblatt zur achtzigsten Wiederkehr seines Geburtstages am 27. Februar). S. 179.  
 — Der Menschenfuß. S. 765.  
 Nachtsheim, Hans, Mendelismus und Tierzucht. S. 635.  
 Petersen, H., Skelettprobleme. S. 337.  
 Pinkus, Felix, Neue Befunde zur Entstehung des Haarkleides der Säugetiere. S. 521.  
 — Neuere Arbeiten über die Färbung der Säugetiere. S. 951.  
 Schiemenz, Paulus, Die Naturwissenschaft im Dienste der Fischerei. S. 224.  
 Ubisch, Leopold von, Über die Harmonie des tierischen Entwicklungsgeschehens. S. 271.  
 Weigold, Hugo, Die wissenschaftliche Vogelfangstation im Biologischen Versuchsgarten zu Helgoland. S. 960.

### Medizin.

- Asher, Leon, Die Bedeutung der physikalischen Chemie für die Biologie mit besonderer Berücksichtigung von Nernsts Theoretischer Chemie. S. 193.  
 Brunner, Alfred, Die chirurgische Behandlung der Lungentuberkulose. S. 289.  
 Buchner, Paul, Haemophagie und Symbiose. S. 703.  
 Hirsch, Paul, Die Anwendung der Interferometrie auf biologische Probleme. S. 525.  
 Kestner, Otto, Überpflanzungen von Organen. S. 592.  
 Köllner, H., Wie wir rechts- und linksäugige Eindrücke unterscheiden. S. 512.  
 Kossel, Albrecht, Über physiologische Umformung von Eiweißkörpern. S. 999.  
 Langley, J. N., Hat der Sympathicus eine direkte Einwirkung auf den quergestreiften Muskel? S. 829.



- Lasareff, P., Die physikalisch-chemische Theorie der Reizung. S. 1123.  
 Loewi, O., Über humorale Übertragbarkeit der Herznervenwirkung. S. 52.  
 Loewy, A., Neue physiologische Untersuchungen über das Leben in den Adren. S. 920.  
 Lüscher, E., Über die mechanischen Probleme der Herztätigkeit. S. 34.  
 Magnus, R., Otolithenfunktion und Körperstellung. S. 927.  
 Mangold, Ernst, Die Totenstarre. S. 895.  
 Meyer, Hans H., Oswald Schmiedeberg. S. 105.  
 Moellendorff, W. v., Über die ersten Entwicklungsstufen des Menschen. S. 663.  
 Pinkus, Felix, Neue Befunde zur Entstehung des Haarkleides der Säugetiere. S. 521.  
 — Neuere Arbeiten über die Färbung der Säugetiere. S. 951.  
 Plaut, F., Serologie und Psychiatrie. S. 605.  
 Rothberger, O. J., Die Unregelmäßigkeit (Arrhythmie) des Herzschlages. S. 1096, 1116.  
 Schaffer, Josef, Zum hundertsten Geburtstage Alfonso Cortis. S. 537.  
 Schoeller, W., Die biochemische Bedeutung der organischen Quecksilberverbindungen. S. 1071.  
 Schüller, Die zweite Tagung der Deutschen Pharmakologischen Gesellschaft. S. 140.  
 Waetzmann, E., Die Resonanztheorie des Hörens. Ihre Entwicklung und ihr gegenwärtiger Stand. S. 542.

## Besprechungen.

### Allgemeines und Philosophie.

- Aster, E. von, Geschichte der neueren Erkenntnistheorie (M. Schlick). S. 873.  
 Becher, Erich, Geisteswissenschaften und Naturwissenschaften (Paul Luchtenberg). S. 1010.  
 Bruns, Ferdinand, Die Zeichenkunst im Dienst der beschreibenden Naturwissenschaften (Felix Pinkus). S. 676.  
 Häberlin, Paul, Der Gegenstand der Psychologie (Kurt Joachim Grau). S. 303.  
 Jaspers, Karl, Psychologie der Weltanschauungen (M. Schlick). S. 874.  
 Ostwald, Wilhelm, Die Farbenlehre. 4. Buch (A. Brückner). S. 503.  
 — Die Grundlagen der messenden Farbenlehre (A. Brückner). S. 908.  
 Reichenbach, Hans, Relativitätstheorie und Erkenntnis a priori (M. Schlick). S. 873.

### Mathematik.

- Charlier, C. V. L., Vorlesungen über die Grundzüge der mathematischen Statistik (Philipp Frank). S. 690.  
 Krauß, F., Die Nomographie oder Fluchtlinienkunst (L. Bieberbach). S. 1132.  
 Tropicke, Johannes, Geschichte der Elementarmathematik. 2. Auflage (Fr. Drenckhahn). S. 45, 1014.

### Astronomie.

- Graff, K., Astrophysik. 3. Auflage von J. Scheiners „Populäre Astrophysik“ (S. Oppenheim). S. 843.  
 Henseling, R. (Hrsg.), Astronomisches Handbuch (J. Hopmann). S. 43.  
 Newcomb-Engelmanns populäre Astronomie. 6. Auflage (S. Oppenheim). S. 327.  
 Strömgren, Elis, Astronomische Miniaturen (W. E. Bernheimer). S. 691.  
 Theimer, Victor, Praktische Astronomie (H. Kienle). S. 44.

### Reine und technisch angewandte Physik.

- Aigner, F., Unterwasserschalltechnik (E. Waetzmann). S. 844.  
 Auerbach, Felix, Moderne Magnetik (Steinhaus). S. 45.

- Autenrieth, Ed., Technische Mechanik (A. Pröll). S. 810.  
 Bauer, Hans, Mathematische Einführung in die Gravitationstheorie Einsteins (A. Kopff). S. 946.  
 Bohr, Niels, Drei Aufsätze über Spektren und Atombau (J. Franck). S. 844.  
 Chwolson, O. D., Lehrbuch der Physik. 2. Auflage. I. Band 1. Abteilung. Mechanik und Meßmethoden. I. Band 2. Abteilung. Die Lehre von den gasförmigen, flüssigen und festen Körpern. II. Band 1. Abteilung. Die Lehre vom Schall (H. Kallmann). S. 453. — II. Band 2. Abteilung. Die Lehre von der strahlenden Energie (A. Sonnenfeld). S. 943.  
 Dessau, Bernhard, Lehrbuch der Physik. 1. Band (W. Westphal). S. 469.  
 Dimmer, F., Der Augenspiegel und die ophthalmologische Diagnostik (H. Erggelet). S. 842.  
 Ebert, H., Anleitung zum Glasblasen. 5. Auflage. (K. Bennewitz). S. 229.  
 — Lehrbuch der Physik (R. Pohl). S. 1084.  
 Einstein, A., Vier Vorlesungen über Relativitätstheorie (M. Born). S. 946.  
 Föppl, A. und L., Drang und Zwang, eine höhere Festigkeitslehre für Ingenieure (R. Grammel). S. 228.  
 Fuchs, L., Grundriß der Funkentelegraphie in gemeinverständlicher Darstellung (A. Meißner). S. 813.  
 Goldberg, E., Der Aufbau des photographischen Bildes. Originalaufsatz (Fritz Weigert). S. 861.  
 Graetz, L., Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus. Bd. III, Lief. 3, Bd. II, Lief. 3, Bd. IV, Lief. 3 (E. Regener). S. 1129.  
 Graff, K., Astrophysik. 3. Auflage von J. Scheiners „Populäre Astrophysik“ (S. Oppenheim). S. 843.  
 Grimsehl, E., Lehrbuch der Physik. II. Band, 4. Auflage (H. Kallmann). S. 258.  
 Grosse, W., Graphische Papiere und ihre vielseitige Anwendung (H. Erfle). S. 258.  
 Hauser, F., Über das „kitāb al hijāl“ — das Werk der sinnreichen Anordnungen — der Benū Mūsā (P. Schröder). S. 691.  
 Kohlrausch, Friedrich, Lehrbuch der praktischen Physik. 13. Auflage. S. 257.

- Krais, Paul, Werkstoffe (G. Masing). S. 160, 813.  
 Ladenburg, Rudolf, Plancks elementares Wirkungsquantum und die Methoden zu seiner Messung (F. Reiche). S. 18.  
 Landé, A., Fortschritte der Quantentheorie (G. Wentzel). S. 845.  
 Laue, M. v., Die Relativitätstheorie. II. Band. Die allgemeine Relativitätstheorie und Einsteins Lehre von der Schwerkraft (M. Born). S. 185.  
 Lerthes, P., Die drahtlose Telegraphie und Telephonie (A. Meißner). S. 813.  
 Lorentz, H. A., A. Einstein, H. Minkowski, Das Relativitätsprinzip (A. Kopff). S. 947.  
 Michel, E., Hörsamkeit großer Räume (Originalaufsatz). S. 420.  
 Mie, Gustav, Die Einsteinsche Gravitationstheorie (Friedrich Kottler). S. 945.  
 Mosler, H., Einführung in die moderne drahtlose Telegraphie und ihre praktische Verwendung (G. Leithäuser). S. 230.  
 Nesper, Eugen, Handbuch der drahtlosen Telegraphie (A. Meißner). S. 19.  
 Ostwald, Wilhelm, Die Farbenlehre. 4. Buch (A. Brückner). S. 503.  
 — Die Grundlagen der messenden Farbenlehre (A. Brückner). S. 908.  
 Pauli, W. jun., Relativitätstheorie. Sonderabdruck aus der Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften (A. Einstein). S. 184.  
 Planck, Max, Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung. 4. Auflage. S. 257.  
 Pringsheim, Peter, Fluoreszenz und Phosphoreszenz im Lichte der neueren Atomtheorie (W. Grotrian). S. 722.  
 Reichenbach, Hans, Relativitätstheorie und Erkenntnis a priori (M. Schlick). S. 873.  
 Rinne, F., Röntgenographische Feinbaustudien (P. P. Ewald). S. 18.  
 Riecke, Lehrbuch der Physik. 6. Auflage (H. Kallmann). S. 1130.  
 — Die Kristalle als Vorbilder des feinbaulichen Wesens der Materie (M. Polanyi). S. 19.  
 Rohr, M. v., Die Brille als optisches Instrument. 3. Auflage (H. Boegehold). S. 17.  
 Thirring, Hans, Die Idee der Relativitätstheorie (A. Kopff). S. 185.  
 Voltz, Fr., Die physikalischen und technischen Grundlagen der Messung und Dosierung der Röntgenstrahlen (R. Glocker). S. 659.

### Reine und technisch angewandte Chemie und physikalische Chemie.

- Becher, Siegfried, Untersuchungen über die Echtfärbung der Zellkerne mit künstlichen Beizenfarbstoffen (Benno Romeis). S. 733.  
 Bohr, Niels, Drei Aufsätze über Spektren und Atombau (J. Franck). S. 844.  
 Eucken, Arnold, Grundriß der physikalischen Chemie (Emil Baur). S. 1083.  
 Euler, Hans, Chemie der Enzyme. 2. Auflage (Felix Ehrlich). S. 228.  
 Fodor, Andor, Das Fermentproblem (Felix Ehrlich). S. 1013.  
 Förster, Fritz, Elektrochemie wässriger Lösungen. 3. Auflage (Alfred Coehn). S. 469.  
 Fraenkel, W., Leitfaden der Metallurgie mit besonderer Berücksichtigung der physikalisch-chemischen Grundlagen (G. Masing). S. 813.

- Georgiewics, G., Handbuch der Farbenchemie. 5. Auflage (P. Friedländer). S. 845.  
 Goldberg, E., Der Aufbau des photographischen Bildes [Originalaufsatz] (Fritz Weigert). S. 861.  
 Grafe, A., Chemie der Pflanzenzelle (E. G. Pringsheim). S. 568.  
 Hári, Paul, Kurzes Lehrbuch der anorganischen Chemie (Leon Asher). S. 1014.  
 Hofmann, Karl M., Lehrbuch der physiologischen Chemie. 4. Auflage. S. 791.  
 Krais, Paul, Werkstoffe (G. Masing). S. 160, 813.  
 Lind, S. C., The Chemical Effects of Alpha Particles and Electrons (H. v. Halban). S. 504.  
 Lippmann, Edmund O. von, Zeittafeln zur Geschichte der organischen Chemie (P. Friedländer). S. 162.  
 Lorenz, Richard, Raumerfüllung und Ionenbeweglichkeit (A. Magnus). S. 468.  
 Meyer, Richard, Vorlesungen über die Geschichte der Chemie (I. Koppel). S. 909.  
 Molisch, Hans, Mikrochemie der Pflanze (K. Freudenberg). S. 209.  
 Nernst, Walter, Theoretische Chemie (Leon Asher). S. 193.  
 Neuburger, Maximilian Camillo, Das Problem der Genesis des Actiniums (L. Meitner). S. 209.  
 Pfeiffer, Paul, Organische Molekülverbindungen (A. Rosenheim). S. 910.  
 Pummerer, R., Organische Chemie (P. Friedländer). S. 161.  
 Roth, W. (Hrsgb.), Chemiker-Kalender 1922. (I. Koppel.) S. 329.  
 Trautz, Max, Lehrbuch der Chemie (I. Koppel). S. 769.

### Geographie und Meteorologie.

- Behrmann, W., 40 Blätter der Karte des Deutschen Reiches 1:100 000. 2. Auflage (O. Baschin). S. 872.  
 Chapman, E. H., The study of the weather (O. Baschin). S. 658.  
 Drygalski, Erich von, Das Eis der Antarktis und der subantarktischen Meere (O. Baschin). S. 205.  
 Eckert, Max, Die Kartenwissenschaft (O. Baschin). S. 871.  
 Günther, S., Eine Kartierung Oberschwabens um die Wende des 18. Jahrhunderts (O. Baschin). S. 873.  
 Halbfuß, Wilh., Grundlagen der Wasserwirtschaft (Thürnaeu). S. 208.  
 Maull, O., Beiträge zur Morphologie des Peloponnes und des südlichen Mittelgriechenlands (K. Oestreich). S. 430.  
 Oltmanns, Friedrich, Das Pflanzenleben des Schwarzwaldes (K. Touton). S. 888.  
 Schöndorf, Fr., Wie sind geologische Karten und Profile zu verstehen und praktisch zu verwerten? 2. Auflage (F. Wilser). S. 873.

### Geologie und Mineralogie.

- Abel, O., Lebensbilder aus der Tierwelt der Vorzeit (Fr. Drevermann). S. 601.  
 Born, A., Allgemeine Geologie und Stratigraphie. II. Band (E. Bederke). S. 659.  
 Dacqué, Edgar, Vergleichende biologische Formenkunde der fossilen niederen Tiere (O. Abel). S. 255.  
 Kayser, E., Lehrbuch der Geologie. I. und II. Band, 6. Auflage (S. v. Bubnoff). S. 658.



- Keilhack, K., Lehrbuch der Praktischen Geologie. 4. Auflage. I. Band (H. Cloos). S. 208.
- Klockmann, F., Lehrbuch der Mineralogie. 7. und 8. Auflage (A. Johnsen). S. 659.
- Naef, Adolf, Die fossilen Tintenfische (K. Ehrenberg). S. 790.
- Rinne, F., Röntgenographische Feinbaustudien (P. Ewald). S. 18.
- Die Kristalle als Vorbilder des feinbaulichen Wesens der Materie (M. Polanyi). S. 19.
- Schöndorf, Fr., Wie sind geologische Karten und Profile zu verstehen und praktisch zu verwerten? 2. Auflage (F. Wilser). S. 873.
- Soergel, W., Die Jagd der Vorzeit (O. Abel). S. 301.
- Walther, Johannes, Allgemeine Paläontologie. II. Teil. Die Vorgänge des Lebens in der Vorzeit (O. Abel). S. 41.

### Allgemeine Biologie und Physiologie.

- Alverdes, Friedrich, Rassen- und Artbildung (Günther Just). S. 56.
- Becher, Siegfried, Untersuchungen über die Echtfärbung der Zellkerne mit künstlichen Beizenfarbstoffen (Benno Romeis). S. 733.
- Buchner, Paul, Tier und Pflanze in intrazellulärer Symbiose (V. Jollos). S. 280.
- Dacqué, Edgar, Vergleichende biologische Formenkunde der fossilen niederen Tiere (O. Abel). S. 255.
- East, Edward M., und Donald F. Jones, Inbreeding and Outbreeding (G. v. Ubisch). S. 42.
- Goldschmidt, Richard, Ascaris. Eine Einführung in die Wissenschaft vom Leben für Jedermann (T. Péterfi). S. 676.
- Haecker, Valentin, Allgemeine Vererbungslehre (H. Nachtsheim). S. 254.
- Klatt, Berthold, Studien zum Domestikationsproblem. Untersuchungen am Hirn (Günther Just). S. 281.
- Korschelt, E., Lebensdauer, Altern, Tod. 2. Auflage (W. Thörner). S. 281.
- Peter, Karl, Die Zweckmäßigkeit in der Entwicklungsgeschichte (L. Glaesner). S. 39.
- Przibram, H., Methodik der Experimentalzoologie (B. Dürken). S. 278.
- Schaxel, J., Untersuchungen über die Formbildung der Tiere (Alfred Fischel). S. 57.
- Schnegg, Hans, Das Mikroskopische Praktikum des Brauers (O. Rahn). S. 42.
- Tschulok, S., Deszendenzlehre [Entwicklungslehre] (A. Fischel). S. 789.
- Uexküll, J. von, Theoretische Biologie (Leon Asher). S. 473.
- Willis, J. C., Age and Area (R. Goldschmidt). S. 995.

### Botanik.

- Cockayne, L., The Vegetation of New Zealand (W. Wangerin). S. 158.
- Engler, A., Die Pflanzenwelt Afrikas, insbesondere seiner tropischen Gebiete (W. Wangerin). S. 159.
- Das Pflanzenreich. Heft 75—80 (W. Wangerin). S. 601.
- Grafe, A., Chemie der Pflanzenzelle (E. G. Pringsheim). S. 568.
- Hegi, G., Illustrierte Flora von Mitteleuropa. 40. bis 47. Lieferung (E. Ulbrich). S. 1131.
- Kolkwitz, R., Pflanzenphysiologie (P. Stark). S. 890.

- Lieske, Rudolph, Morphologie und Biologie der Strahlenpilze (R. O. Neumann). S. 55.
- Molisch, Hans, Mikrochemie der Pflanze (K. Freudenberg). S. 209.
- Müller, Carl, Rebschädlinge und ihre neuzeitliche Bekämpfung. 2. Auflage (Albrecht Hase). S. 845.
- Nüßlin, Otto, Forstinsektenkunde. 3. Auflage (Max Dingler). S. 924.
- Oltmanns, Friedrich, Das Pflanzenleben des Schwarzwaldes (K. Touton). S. 888.
- Morphologie und Biologie der Algen (E. G. Pringsheim). S. 924.
- Rübel, Eduard, Geobotanische Untersuchungsmethoden (W. Wangerin). S. 692.
- Strasburger, E., Das botanische Praktikum. 6. Auflage (H. Kniep). S. 260.
- Willis, J. C., Age and Area (R. Goldschmidt). S. 995.

### Zoologie.

- Abel, Othenio, Die Methoden der paläobiologischen Forschung (H. Bluntschli). S. 207.
- Lebensbilder aus der Tierwelt der Vorzeit (Fr. Drevermann). S. 601.
- Baer, W., Die Tachinen als Schmarotzer der schädlichen Insekten (Albrecht Hase). S. 56.
- Chance, Edgar, The Cuckoo's Secret (Fritz Braun). S. 743.
- Friese, H., Die europäischen Bienen (Max Dingler). S. 1132.
- Kofoid, Charles Atwood, and Olive Swezy, The free-living unarmored Dinoflagellata (Br. Schröder). S. 432.
- Krieg, Hans, Die Prinzipien der Streifenzeichnung bei den Säugetieren (Felix Pinkus). S. 951.
- Lucanus, Friedrich von, Die Rätsel des Vogelzuges (Hermann Schalow). S. 159. — (Fritz Braun.) S. 565.
- Müller, Carl, Rebschädlinge und ihre neuzeitliche Bekämpfung. 2. Auflage (Albrecht Hase). S. 845.
- Naef, Adolf, Die fossilen Tintenfische (K. Ehrenberg). S. 790.
- Nüßlin, Otto, Forstinsektenkunde. 3. Auflage (Max Dingler). S. 924.
- Przibram, H., Methodik der Experimentalzoologie (B. Dürken). S. 278.
- Schäff, Ernst, Ornithologisches Taschenbuch für Jäger und Jagdfreunde (Fritz Braun). S. 209.
- Schröder, Chr., Handbuch der Entomologie. 5. Liefg. III. Band (Arnold Japha). S. 43.
- Soergel, W., Die Jagd der Vorzeit (O. Abel). S. 301.
- Titschack, E., Beiträge zu einer Monographie der Kleidermotte, Tineola biselliella (Albrecht Hase). S. 923.
- Tschulok, S., Deszendenzlehre [Entwicklungslehre] (A. Fischel). S. 789.
- Walther, Johannes, Allgemeine Paläontologie (O. Abel). S. 41.
- Wolterstorff, W., Die Molche Deutschlands und ihre Pflege (H. L. Honigmann). S. 568.

### Medizin.

- Dimmer, F., Der Augenspiegel und die ophthalmologische Diagnostik. 3. Auflage (H. Erggelet). S. 842.
- Hofbauer, Ludwig, Atmungs-Pathologie und Therapie (Adolf Lazarus). S. 1132.

- Krehl, Ludolf, Pathologische Physiologie. 11. Auflage (A. Pütter). S. 279.  
 Krieg, Hans, Die Prinzipien der Streifenzeichnung bei den Säugetieren (Felix Pinkus). S. 951.  
 Lazarus, Adolf, Paul Ehrlich (F. Pinkus). S. 909.  
 Lieske, Rudolph, Morphologie und Biologie der Strahlenpilze (R. O. Neumann). S. 55.

- Rohr, M. v., Die Brille als optisches Instrument. 3. Auflage (H. Boegehold). S. 17.  
 Tigerstedt, Robert, Die Physiologie des Kreislaufs (Leon Asher). S. 160.  
 Voltz, Fr., Die physikalischen und technischen Grundlagen der Messung und Dosierung der Röntgenstrahlen (R. Glocker). S. 659.

## Referate über Abhandlungen in Zeitschriften.

### Astronomie.

- Adams, W. S., G. Strömberg und A. H. Joy: Die Beziehung zwischen der absoluten Helligkeit von Fixsternen und deren räumlicher Geschwindigkeit. S. 471.  
 Albrecht, S.: Wave lengths and periodic changes of spectral type in the variable Star  $\iota$  Carinae. S. 64.  
 Anderson, J. A.: The wave-length in astronomical interferometer measurements. S. 725.  
 Angström, A.: Beziehung zwischen der Solarkonstanten, den Sonnenflecken und der Sonnentätigkeit. S. 877.  
 Bauschinger, J.: Bestimmung und Zusammenhang der astronomischen Konstanten. S. 287.  
 Burns: On mean relative and absolute parallaxes. S. 1064.  
 Charlier: Introduction to stellar statistics. S. 584.  
 Duncan, J. C.: Die innere Bewegung im Crab-Nebel. S. 821.  
 Hagen, J. G.: Die Definition einer Nova. S. 700.  
 Hayn, F.: Die Plejaden. S. 336.  
 Hertzsprung: Absolute Helligkeit und Spektraltypus (Russell-Diagramm). S. 878.  
 Kapteyn: Kapteyns Versuch einer dynamischen Auffassung des Fixsternsystems. S. 821.  
 — Die Grundlagen der Shapleyschen Entfernungbestimmungen. S. 853.  
 — und van Rhijn: Die Entfernung der kugelförmigen Sternhaufen. S. 552.  
 — Über die Entfernung, bis zu der sich die Verteilung der Sterne im Raume mit einiger Sicherheit bestimmen läßt. S. 822.  
 Luplau-Janssen, C., und G. Haahr: Die Sterne vom 4. Secchischen Typus. S. 288.  
 Maanen, A. van: Die innere Bewegung bei den Spiralnebeln. S. 820.  
 Meyermann: Die Massen von 59 Doppelsternen. S. 1063.  
 — Die Abhängigkeit der Geschwindigkeit der Sterne von ihrer Masse. S. 1063.  
 Miller und Pitman: The masses of visual binary stars. S. 1063.  
 Pahlen, E. v. d.: Über die Häufigkeit des Vorkommens von Sternen verschiedener Maße. S. 1087.  
 Pannekoek, A.: Die nördliche Milchstraße. S. 119.  
 — The local starsystem. S. 120.  
 Rasmuson: A research on moving clusters. S. 854.  
 Russel, H. N.: Die Ionisation der Elemente in der Sonnenatmosphäre und in den Sonnenflecken. S. 877.  
 — On the calculation of masses from spectroscopic parallaxes. S. 1087.

- Russell, H. W.: Rubidium in der Sonnenatmosphäre. S. 240.  
 Seares, F. H.: The masses and densities of the stars. S. 1085.  
 Shapley, H.: Der Abstand des kugelförmigen Sternhaufens M 5. S. 440.  
 — Die Entfernung der Magellanschen Wolke. S. 1063.  
 — und Annie A. Cannon: Das lokale System und die Sterne der Spektralklasse A. S. 471.  
 Wilsing, J.: Über die Beziehungen zwischen den Farben, den Temperaturen und den Durchmessern der Sterne. S. 216.

### Physik, Chemie und physikalische Chemie (reine und technisch angewandte).

- Bauer, O., und N. Arndt: Seigerungserscheinungen bei Legierungen. S. 817.  
 Becker, R.: Eine neue Methode zur Bestimmung des Durchmessers von Gasmolekülen. S. 164.  
 Coblenz, W. W.: Present status of the constants and verification of the laws of thermal radiation of a uniformly heated inclosure. S. 22.  
 Erfle, H.: Einiges über Sehrohre. S. 331.  
 French, James Weir: Der 30-m-Basisentfernungsmesser von Barr und Stroud. S. 848.  
 Gifford, J. W.: Achromatic one-radius doublet eyepieces. S. 334.  
 Gleichen, Alexander: The path of rays in periscopes having an inverting system comprising two separated lenses. S. 333.  
 Groot, H.: Gravity and pressure of radiation. S. 64.  
 Hopwood, F. L.: Ein Autostroboskop und ein Glühfadenfarbenkreisel. S. 615.  
 John, Charles E. St., und Harold D. Babcock: An investigation of the constancy in wave-length of the atmospheric and solar lines. S. 726.  
 Kannenstine, F. M.: Bildung und Lebensdauer des metastabilen Heliums. S. 851.  
 Lebedeff, A. A.: Über den Polymorphismus und die optische Kühlung des Glases. S. 310.  
 Lilienfeld: Eine neue Methode der Röntgenstrahlerzeugung. S. 166.  
 Martin, L. C.: Die physikalische Bedeutung der sphärischen Abweichung. S. 519.  
 Massey: Das Fließen des Metalles beim Warmpressen und Hämmern. S. 617.  
 Michaud, M.: Gefriererier. S. 698.  
 Peddle, C. J.: Die Fabrikation von optischem Glas. S. 309.  
 Preston, F. W.: Über die Struktur geschliffener und polierter Glasoberflächen. S. 517.  
 Rutherford, Ernest: Über die Kernstruktur der Atome. S. 234.



biontischen Organes in das Ei einwandern und mit diesem abgelegt werden (Fig. 3), und die im Mutterleib sich entwickelnden Embryonen der Blattläuse werden nach Untersuchungen eines meiner Schüler erst als solche von einem mächtigen Strom von azotobacterartigen Organismen attackiert (Fig. 4). Bei den Pyrosomen aber vereinigen sich beide Eigentümlichkeiten. Aus dem Ei entstehen dadurch, daß schon sehr frühzeitig eine ungeschlechtliche Fortpflanzung einsetzt, gleich kleine Kolonien aus 4 Individuen, also mit 8 Leuchtorganen. Da etwa 400 Leuchtzellen überwandern, treffen auf jedes ungefähr 50, und wir stehen vor dem Unikum, daß ein Organismus, der sich von einem Ei herleitet, trotzdem ein Organ besitzt, dessen Zellen durch eine Art innerer Knos-

Darstellung eines Lechtsymbiosezyklus bei den Feuerwalzen zu zweifeln, wird selbst einem Skeptiker nicht mehr möglich sein. Alle Einzelheiten sind zudem mit einem vorzüglichen Bildermaterial belegt. Somit gewinnen wir mit diesen Beobachtungen eine Basis, von der aus wir die mannigfachen Erscheinungen tierischen Leuchtens beurteilen können, und die deshalb von besonderer Bedeutung ist, weil wir über die Physiologie des Pyrosomenlichtes sehr genau unterrichtet sind und so in die Lage gesetzt werden, die diesbezüglichen Erfahrungen an anderen Objekten mit diesen zu vergleichen.

Als markantestes Merkmal der beschriebenen Lechtsymbiose hat neben dem Vorhandensein von Mikroorganismen in den als Licht aussen-

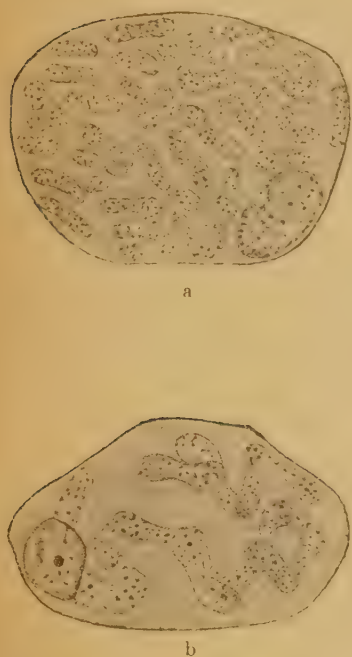


Fig. 1. a) Zelle aus dem Leuchtorgan einer Feuerwalze; b) infizierte Follikelzelle derselben. Nach Jülin.

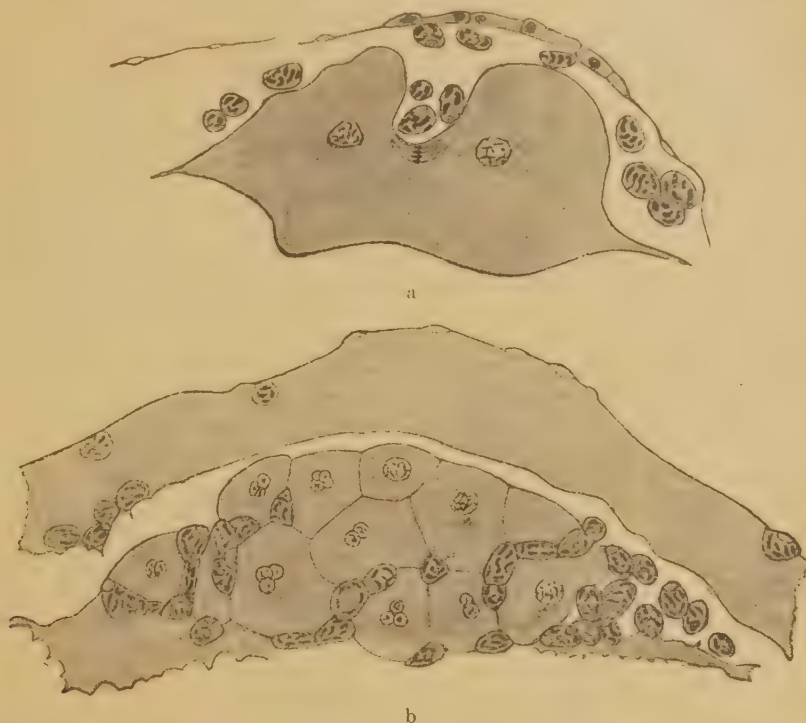


Fig. 2. Die mit den Leuchtbakterien infizierten Follikelzellen wandern in den Pyrosomonembryo ein. a) Zweizellenstadium; b) späteres Furchungsstadium. Nach Jülin.

pung direkt vom mütterlichen Körper (Soma) in den Embryo implantiert wurden. Bei den eben erwähnten Aleurodes kommt es nicht ganz so weit, hier werden die Symbionten am Ende der Embryonalentwicklung aus den alten mütterlichen „Mycetocyten“ in lebensfrische, vom Ei stammende Zellen umgeladen. Bei den Pyrosomen setzt diese Erneuerung erst ein, wenn an jenen vier Erstlingen die weiteren Tochtertiere knospen. Dann wird abermals ein Teil der Symbionten frei, infiziert nun aber nicht Follikelzellen — die geschlechtliche Fortpflanzung setzt erst viel später ein —, sondern gewisse indifferente Blutzellen, die sich hierauf zu neuen Leuchtorganen zusammengruppieren.

An der Richtigkeit der hier vorgetragenen

dend erkannten Zellen der Umstand zu gelten, daß das Wirtstier bereits seine Eier, hier vom Augenblick der 1. Furchungsteilung an, den fremden Gästen öffnet, um so den wertvollen Lichtquell auf jeden Fall seinen Nachkommen zu sichern. Damit findet der zunächst so merkwürdige Umstand, daß Eier und Embryonen, die noch gar keine Leuchtorgane besitzen und auch noch gar keinen Vorteil von der Leuchtfähigkeit haben, bereits Licht aussenden, eine höchst einfache und zweckmäßige Erklärung.

Wenn wir nun aber vor der Frage stehen, ob wir ein solches Symbiontenlicht als eine seltsame Ausnahme ansehen sollen oder ihm eine weite Verbreitung zubilligen müssen, so gewinnt diese Erscheinung der leuchtenden Eier noch eine be-



sondere Bedeutung als Wegweiserin in die Fülle der Tatsachen der tierischen Lichtproduktion. Ohne an eine Verwertung in unserem Sinne zu denken, schreibt *Dubois*, ein französischer Zoologe, der sich sehr viel mit dem Leuchtproblem befaßt hat, nachdem er mitgeteilt, daß die Eier von Leuchtkäfern, Würmern, Cölenteraten, Mollusken leuchten, daß es sich dabei sehr wahrscheinlich um eine für alle mit Lichtbildung begabten Metazoen geltende Erscheinung handle! Und wenn wir die physiologischen Merkmale leuchtender Insekten, Cölenteraten, Mollusken usw. mit denen der Feuerwalzen vergleichen, stoßen wir immer wieder auf Schritt und Tritt auf weitgehende Übereinstimmungen. Sollen wir

Lage anlangt, streng fixierte Organe, die aber, wenn man die einzelnen Arten vergleicht, außerordentlich mannigfach sind (Fig. 5). Ihr Bau ist im wesentlichen aber immer der gleiche. An bestimmten Stellen unterbleibt die bräunliche Verfärbung des Chitins und darunter liegt ein Komplex leuchtender Zellen von parenchymatösem Charakter. Hinter diese aber wird in der Regel eine Zone weißlich erscheinender, opaker Zellen

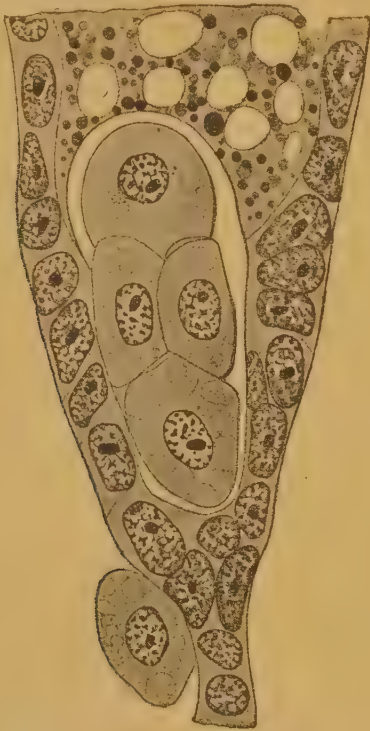


Fig. 3. Infektion eines Aleurodeseies durch Mycetozyten aus dem mütterlichen Pilzorgan. Nach Buchner.

daraus schließen, daß zwei so völlig verschiedene Prinzipien, wie die Aufnahme von Lechtsymbionten und die Produktion leuchtender Zellsekrete, sich in ganz der gleichen Weise äußern können oder die vielen auf den ersten Blick allzu verwegene Hypothese aufstellen, daß es sich hierbei allemal um Lechtsymbiosen handelt?

Die heute bereits vorliegenden Beobachtungstatsachen ermutigen uns entschieden, den letzteren Weg einzuschlagen! Da sind zunächst die Angaben *Pierantonis* zu nennen, die sich auf die Lampyriden, die uns allen wohlbekannten Glühwürmchen beziehen. Sie und eine Anzahl tropischer Elateriden sind nicht nur die einzigen Käfer, sondern Insekten überhaupt, die mit Leuchtvermögen begabt sind. Was leuchtet, sind allemal wohlumschriebene und, was Zahl und



Fig. 4. Blattlausembryo mit eindringendem Symbiontenstrom. Nach Sell.

gelagert, die in erster Linie Harnsäureverbindungen enthalten, also eine Art Speicherniere darstellen, wie sie auch sonst in Insekten unabhängig von Leuchterscheinungen vorkommt. Allemal ist die Sauerstoffversorgung des leuchtenden Gewebes eine ganz vorzügliche, besondere sternförmige Tracheenendzellen sind zwischen die Leuchtzellen eingesprengt und bringen so die atmosphärische Luft in zahlreichen feinen Kapillaren überall an diese hin. In den uns vornehmlich interessierenden Zellen aber findet *Pierantoni* zahlreiche Bakterien, teils in Form von Stäbchen, teils in der von Kokken. In Ausstrichen verhalten sie sich den verschiedenen Färbemitteln gegenüber ganz wie Bakterien, künstliche Kulturen sollen sich von ihnen ebenfalls haben herstellen lassen. Wenn auch leider eine genaue Untersuchung der Art und Weise, wie die Leucht-

bakterien in die Eizellen gelangen, noch aussteht, so haben doch schon ältere Autoren, wie *Dubois*, konstatieren können, daß der Sitz des Leuchtens tatsächlich nicht auf und an den Eiern, sondern in diesen ist, und *Pierantoni* sind in Ausstrichen und auf Schnitten durch junge Entwicklungsstadien die Symbionten wieder begegnet. Trotz allem stehe ich nicht an, zuzugeben, daß das Beobachtungsmaterial in diesem Fall nicht so reichhaltig ist, wie man es wünschen möchte, um jedermann zu überzeugen, und wie es etwa von den Pyrosomen vorliegt. Solchen Untersuchungen an symbiontischen Bakterien stehen nicht unbeträchtliche Schwierigkeiten gegenüber und wenn nicht besonders günstige Momente zu Hilfe kommen, wie bei den Pyrosomen die Größe der Symbionten oder markante Übertragungseinrichtungen, wie im folgenden Fall, so ist die Rekonstruktion des gesamten Zyklus an der Hand von Schnittpräparaten keine ganz einfache Sache.

Das wird anders, wenn wir uns nun den schönen Untersuchungen *Pierantonis* an Tintenfischen zuwenden, die in ihrer Unanfechtbarkeit auch denen an Lampyriden eine Stütze werden. Sie sind für die Neugestaltung des tierischen

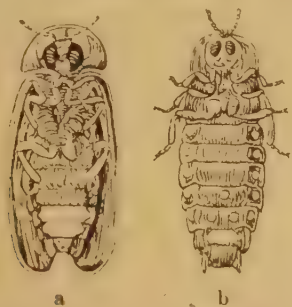


Fig. 5. Männliche (a) und weibliche (b) *Lampyris noctiluca* mit den in beiden Geschlechtern verschieden gestalteten Leuchtorganen. Nach *Flöricke*.

Leuchtproblems auch deshalb von besonderer Bedeutung, weil es sich hierbei zum größeren Teil um Tiere handelt, deren Leuchtorgane mit all den erstaunlichen Hilfseinrichtungen versehen sind, wie sie uns sonst vor allem noch an den Fischen begegnen werden, deren Kompliziertheit und Zweckmäßigkeit es aber nach der Meinung so manchen Zweiflers ausschließen soll, daß die Existenz fremder Lebewesen Anstoß zu ihrer Bildung gewesen ist.

Vornehmlich sind es die Tintenfische der Tiefsee, die der Zoologe als Oigopsiden zusammenfaßt, welche mit diesen hochkomplizierten Apparaten ausgebildet sind, die uns in erster Linie durch die hervorragenden Studien *Chuns* an Hand des Materials der deutschen Tiefseeexpedition bekanntgeworden sind. *Pierantoni* jedoch wandte sich zunächst den Leuchterscheinungen an Myopsiden, Tintenfischen, die in geringen Tiefen leben, zu, welche bisher nur sehr wenig gewürdigt wurden. Dabei ergab sich, daß Organe, die neben den Drüsen liegen, welche die Substanz der Eischalen liefern und deren Bedeutung bis-

her eine ganz unbekannte war, die sog. akzessorischen Nidamentaldrüsen, ein System drüsenähnlicher, wirr durcheinanderziehender Schläuche, tatsächlich gar keine echten Drüsen darstellen, sondern Wohnstätten symbiontischer Bakterien sind und daß von ihnen, besonders während der Brunstzeit, Licht ausstrahlt. Auf künstlichen Nährböden ließ sich der Inhalt sehr wohl züchten und behielt hierbei sein Leuchtvermögen bei. Daneben durchsetzen Leuchtbakterien diffus das Epithel und die Muskulatur des Mantels. Die Übertragungsweise aber macht erst die Lage des noch primitiven Leuchtorgans verständlich, das so angeordnet ist, daß, wenn sein Inhalt austritt, er sich notwendig mit dem Schalensekret der echten Nidamentaldrüsen mengen muß; und in der Tat, untersucht man die derbgelatinöse Eischale, etwa einer *Sepia officinalis*, die einen geschichteten Bau besitzt und vom Sekret des Tintenbeutels geschwärzt zu werden pflegt, genauer, indem man die einzelnen Lagen sondert, so findet man die Bakterien, besonders nach innen zu und unmittelbar um das Ei, in Menge in freibeweglichem Zustand.

Die akzessorischen Nidamentaldrüsen werden damit also zu spezifischen Übertragungseinrichtungen, ein Befund, der im Symbiosekapitel nicht allein dasteht. Vielmehr scheint der Wirtsorganismus in Fällen, die aus irgendwelchen Gründen eine direkte Infektion der Ovarialeier verbieten, mit Vorliebe zu diesem Mittel zu greifen. So fand ich, daß bei gewissen Käfern (Anobien), die in bestimmten Teilen ihres Darmepithels Hefezellen beherbergen, eigene drüsenähnliche Anhänge gebildet werden, in denen ebenfalls diese Symbionten in Massen gedeihen und die so gelagert sind, daß bei der Eiablage eine Anzahl von ihnen die Eioberfläche beschmieren müssen. Entschlüpft die Larve der so besudelten Schale, so frißt sie sie zum Teil auf und infiziert sich damit aufs neue. Und bei einer als Larve in Oliven lebenden Fliege (*Dacus*) hat *Petri* ganz ähnliche spezifische Beschmierapparate entdeckt, die auf die porentragende Mikropyleplatte des austretenden Eies einen Klumpen stäbchenförmiger Bakterien abgeben, die hier schon vor dem Schlüpfen in die junge Larve einwandern. Wir stellen also abermals fest, und ich möchte das nachdrücklich betonen, daß die Teilerscheinungen der Leuchtsymbiose allemal in solchen andersgearteter, unzweifelhafter Symbiosen bei nicht leuchtenden Tieren ihr getreues Gegenstück besitzen.

Von den primitiven Leuchtorganen der Sepien führt eine klare Reihe aufsteigender Komplikation zu den vollendetsten der Tiefseebewohner<sup>1)</sup>. Unsere Abbildung Fig. 6 führt uns drei Etappen

<sup>1)</sup> Daß sich die Reihe auch nach abwärts noch über *Sepia* hinaus in *Loligo forbesi* fortsetzt, sei nur anhangsweise erwähnt; wer sich hierfür und für andere, die Dinge noch komplizierende Einzelheiten interessiert, muß auf mein oben zitiertes Buch verwiesen werden.



derselben vor. Bei *Rondeletia* liegt in beiden Geschlechtern dem Tintenbeutel schon ein regelrechtes Leuchtorgan auf, das durch Steigerung und Weiterbildung eines Teiles der akzessorischen

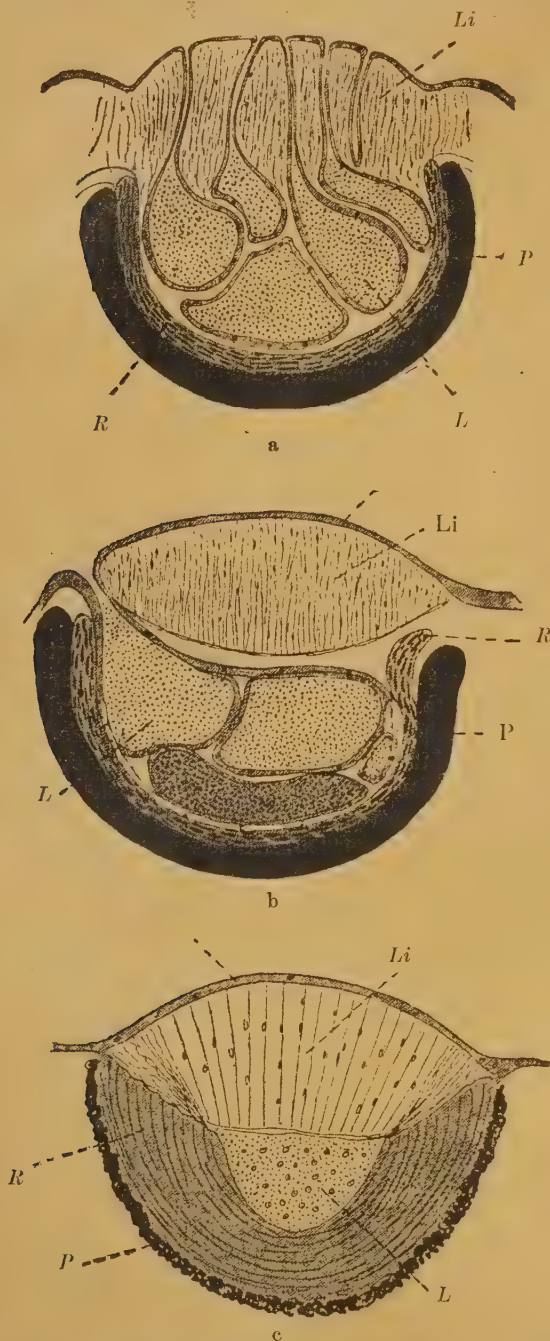


Fig. 6. Leuchtorgane von Tintenfischen. a) *Rondeletia*, b) *Sepiola*, c) *Pterygioteuthis*. Li Linse, L Leuchtsubstanz, P Pigment (bei a und b Tintenbeutel), R Reflektor. a und b nach *Pierantoni*, c nach *Chun*.

Nidamentdrüsen entstanden und sekundär auf das männliche Geschlecht übertragen zu denken ist. Die flaschenförmig sich erweiternden, bakteriengefüllten Säcke sind in ein Bindegewebe eingesenkt, das besonders reich mit den offenbar

die Symbionten ernährenden Kapillaren durchsetzt ist; über ihnen aber ist es ungewöhnlich durchscheinend geworden und stellt so einen unverkennbaren Ansatz zu einer Linsebildung dar. Auf der entgegengesetzten Seite, hinter der Lichtquelle, hat sich durch Umbildung von Muskelfasern ein Licht sammelnder Reflektor gebildet. Ein Pigmentschirm, wie ihn andere Tintenfische schließlich vielfach noch dahinter ausbreiten, wird hier durch den Tintenbeutel ersetzt (a).

*Sepiola* aber hat bereits eine vorzügliche Linse von regelmäßiger Form zustande gebracht, die insbesondere auch dadurch ermöglicht wird, daß die Ausführungsgänge der abermals bakteriengefüllten Schläuche alle nach der Seite ausweichen. Auch



Fig. 7. *Histiotentis* mit zahlreichen Leuchtorganen. Nach *Lang*.

das Tapetum übertrifft jenes von *Rondeletia*. Durch seine besondere Lage endlich gewinnt hier der Tintenbeutel auch die Funktionen eines abblendenden Lides (b). Mit alledem wird aber bereits die organisatorische Höhe der Oigopsidenleuchtorgane erreicht. Ein wesentlicher Unterschied derselben besteht nur darin, daß hier die Leuchtakterien, von deren Existenz sich *Pierantoni* bei *Charybteuthis* überzeugen konnte, nicht im Lumen nach außen sich öffnender Schläuche sitzen, sondern *innerhalb* einer Ansammlung von Leuchtzellen, die an entsprechender Stelle unter der Linse liegen, von der es aber sehr wahrscheinlich ist, daß sie sich aus einer Einsenkung und Abschnürung des Epithels entwickelt (c). Wir müssen es uns versagen, auf die Fülle der recht verschieden konstruierten Organe näher einzugehen, mit der uns hier *Chun* bekannt gemacht hat; die Arme, die Augenränder, die verschieden-

sten Stellen des übrigen Körpers können mit ihnen wie mit Edelsteinen besetzt sein, die dank der Reflektoren, Pigment- und Flitterlagen keineswegs nur in dem ursprünglichen Grün aufzuleuchten vermögen (Fig. 7). Daß wir auf sie alle die neue Erkenntnis anwenden dürfen, darüber kann kein Zweifel bestehen.

(Schluß folgt.)

## Neue Forschungen über die kosmischen Nebelflecke.

Von J. Hopmann, Bonn.

Sternhaufen und Nebelflecke, die früher und z. T. auch noch heute so rätselhaften Himmelsgebilde, wurden vor ein bis zwei Jahrzehnten in den Darstellungen der Ergebnisse der Astronomie unter ein Kapitel gefaßt; heute wissen wir, wie grundverschieden sie voneinander sind. Über die Sternhaufen kennen wir durch die Arbeiten *Shapleys* von der Mount-Wilson-Sternwarte in Californien unendlich viel Neues<sup>1)</sup>. Analog hat während des Krieges die Licksternwarte die Nebel untersucht<sup>2)</sup>. Über diese und eine Reihe anderer neuer Veröffentlichungen zu diesem Thema (der Kürze wegen nicht aller) sei nachstehend im Zusammenhang berichtet, wobei sich von selbst ein Überblick über unsere derzeitigen Kenntnisse auf diesem Gebiete ergibt. — Wie die Sternhaufen können wir auch die Nebel in drei verschiedene Klassen teilen: 1. die sogenannten Spiralnebel, 2. die unregelmäßigen ausgedehnten Gaswolken, 3. die planetarischen Nebel.

### I.

Die erste Klasse, die *Spiralnebel*, sind in einigen typischen Abbildungen, die in jeder modernen populären Astronomie zu finden sind, wohl allgemein bekannt: z. B. M 51 in den Jagdhunden, M 33 im Dreieck, eine von „oben“. N. G. C. 224, der große Andromedanebel<sup>3)</sup>, eine stark von der „Kante“ gesehene Spirale. Die Zahl dieser Nebel ist außerordentlich groß. Ihrer scheinbaren Ausdehnung nach kennen wir eine ununterbrochene Folge vom Andromedanebel (2½') bis zu ganz kleinen unter 1'. Die am Crobleyreflektor (91 cm Öffnung) der Licksternwarte aufgenommenen Platten zeigen oft eine Unzahl unbekannter dieser Art. Bei vorsichtiger Schätzung glaubt *Curtis*, daß ca. 700 000 im Bereich dieses Instruments liegen. Wie man seit langem weiß, häufen sie sich besonders an den

Polen der Milchstraße. — Schon seit Jahren kennt man bei manchen dieser Objekte eigenartige dunkle Streifen; *Curtis* benutzt die neuen Lickaufnahmen zu einem systematischen Studium dieser, welches ihn zu der gesicherten Annahme dunkler Licht absorbierender Materie in den Spiralen führt, die den Windungen spiralig sich anschließt. Fig. 1 ist aus dem Lickbande reproduziert und zeigt einige durch passende Vergrößerung auf gleiche Ausdehnung gebrachte Aufnahmen derartiger von der Kante gesehener Nebel<sup>4)</sup>.

Über die kosmische Stellung der Spiralen ist bis heute noch kein endgültiges Urteil möglich. Direkte Entfernungsbestimmungen sind immer wieder ohne positives Ergebnis geblieben. Zwei Hypothesen stehen gegeneinander. Nach der einen sind diese Nebel der Milchstraße koordiniert, d. h.

N. G. C.

7814

4565

5866

4594



Fig. 1. Dunkle Materie in den Spiralnebeln.

ihr gleichartige, aber sehr ferne Systeme, während die andere sie subordiniert, d. h. als Glieder der Milchstraße betrachtet. Ihr, dem unserer Sonne nicht unähnliches, Spektrum spricht für die erste Auffassung (Weltinseltheorie). Danach können wir wegen der riesigen Entfernung die Spiralen nicht in einzelne (sonnenartige) Sterne auflösen, so wie dies vor Einführung der Photographie, und für die Kerne z. T. auch noch heute, bei den kugelförmigen Sternhaufen der Fall war. Auch die großen Radialgeschwindigkeiten der Spiralen (meist über 500 und bis zu 2000 km/sec gehend)<sup>5)</sup> kann man vielleicht zugunsten dieser Ansicht auslegen. Aus ihnen hat man versucht, die Bewegung des Milchstraßensystems nach Größe und Richtung gegenüber diesen anderen Systemen festzulegen, ähnlich

<sup>4)</sup> Bei der Reproduktion dieser wie aller übrigen Bilder ist natürlich viel Detail der in hervorragender Technik ausgeführten Tafeln verloren gegangen.

<sup>5)</sup> Naturwissensch. 1921, S. 176.

<sup>1)</sup> Naturwissensch. 1920, S. 740; 1921, S. 769.

<sup>2)</sup> Publications of the Lick Observatory XIII, 1918. Dieses Prachtwerk, 268 Quartseiten mit 50 Tafeln und vielen Skizzen wird es (durch die derzeitigen Verhältnisse) nur in wenigen Exemplaren in Deutschland geben. Mir stellt Prof. H. Kayser (Bonn) das seinige zur Verfügung, wofür ihm auch hier bestens gedankt sei.

<sup>3)</sup> Alle Nebelflecken und Sternhaufen werden entweder nach dem Kataloge von *Messier* (1777) oder *Dreyers New General Catalog of nebulae and clusters* (1880) mit M... oder N. G. C.... bezeichnet.



wie die Bewegung der Sonne innerhalb der Milchstraße aus den Radialgeschwindigkeiten der Sterne sich ergibt.

In den letzten Jahrzehnten fand man bekanntlich häufig neu aufleuchtende Sterne am Himmel auf, im hellsten Licht bis 1. Größe, die nach mehr oder weniger langer Zeit zur 9., 11. usw. Größe zurückgingen. Mit Sicherheit meßbar war bei keinem von ihnen die Entfernung, nur zu mindestens 1000 Lichtjahren abzuschätzen. Andererseits wurden in einer Reihe von Spiralnebeln ebenfalls Novae entdeckt. Das Verhältnis der maximalen Helligkeiten beider Arten von Novis gab einen Anhalt über die Größenordnung der Entfernungen der Spiralen. Nach *Lundmark* wäre danach der Andromedanebel, der uns höchstwahrscheinlich nächste dieser Art, nur 500 000 Lichtjahre entfernt bei 23 000 Lichtjahren Durchmesser<sup>6)</sup>.

Für die Weltinseltheorie spricht schließlich noch folgendes: *Seares* hat<sup>7)</sup> auf Grund der neueren Stellarstatistik die durchschnittliche Flächenhelligkeit der Milchstraße berechnet, wie sie sich von einem außerhalb gelegenen Punkte darstellt. Die Helligkeit pro Winkelflächeneinheit, z. B. die Quadratbogensekunde, ist dabei, wie leicht ersichtlich, von der angenommenen Entfernung unabhängig. Von „oben“ gesehen hat dann die Milchstraße in diesem Maße die Helligkeit eines Sterns 23,7 Größe, von der Kante die 22,0 Größe. Wie ich in einer demnächst in den Astronomischen Nachrichten erscheinenden Arbeit nachzuweisen suche, haben 150 Spiralen entsprechend Flächenhelligkeiten zwischen 18<sup>m</sup> und 24<sup>m</sup>, im Durchschnitt 21<sup>m</sup>. Die Kerne einiger bekannter und großer (naher) Spiralen sind allerdings beträchtlich heller, 16<sup>m</sup> pro Quadratbogensekunde, auch gegenüber dem Kern unserer Milchstraße, 20<sup>m</sup> nach *Seares*.

Bei einigen wenigen Spiralen war man bisher in der Lage, innere Bewegungen festzustellen. Beim Andromedanebel und bei N. G. C. 4594 (s. Fig. 1), die wir nahe von der Kante sehen, wurden spektrographisch Unterschiede in den Radialgeschwindigkeiten der einzelnen Teile ermittelt. Die Ostseite des letzteren entfernt sich z. B. 800 km/sec schneller von uns als die Westseite. Ferner hat *van Maanen*<sup>8)</sup> bei M 101 und M 33, beides für uns nahezu voll geöffnete Spiralen, durch Vergleich von Mount-Wilson- und Lickplatten, die einige Jahre auseinanderliegen, innere Bewegungen ermittelt<sup>9)</sup>, und zwar in dem Sinne, daß die Spiralen sich allmählich vergrößern, entwickeln. Die mittlere jährliche Auswärtsbewegung ist 0",022 bei M 33. Für 2

bestimmte Knoten dieses Nebels hatte aber *Pease* als Differenz der Radialgeschwindigkeiten 200 km/sec erhalten. Unter Annahme einer plausiblen Neigung der Ebene der Spirale zur Gesichtslinie kann *van Maanen* beide Zahlenwerte kombinieren, um die Entfernung des Nebels der Größenordnung nach zu berechnen. Er erhält 6000 Lichtjahre (nur!) und als Größe desselben 100 Lichtjahre (Abstand der Hyaden von uns). Also noch ein in das System der Milchstraße gehöriges Objekt, weiter als die planetarischen Nebel (s. u.), näher aber als die kugelförmigen Sternhaufen. Wollte man M 33 unserer Milchstraße gleichsetzen, so müßte seine Entfernung einige Millionen Lichtjahre sein, dann aber die durch *van Maanen* gemessenen kleinen Richtungsänderungen Bewegungen entsprechen, die an die Lichtgeschwindigkeit herankommen. Was aber sicher sehr stark gegen die „Weltinseltheorie“ spricht.

## II.

Sicher zur Milchstraße gehören die Nebel der zweiten nunmehr zu erörternden Klasse, die *formlosen*. Sie erstrecken sich oft über große Teile des Himmels, wie z. B. der hellste von ihnen, der Orionnebel, dessen Gasmassen das gesamte gleichnamige Sternbild ausfüllen. Das Spektroskop zeigt bei ihnen helle Linien, ihren Gascharakter kennzeichnend. Die Linien sind die gleichen wie bei den planetarischen Nebeln, herrührend vom Wasserstoff, Helium und unbekannten Gasen, über die im dritten Abschnitt ausführlicher gesprochen wird. Die Kernteile des Orionnebels haben *Campell* und *Moore* in dem neuen Lickbande spektrographisch untersucht. Seine mittlere Radialgeschwindigkeit ist +17,5 km/sec, d. h. wenn die Bewegung der Sonne unter den Fixsternen noch in Rechnung gestellt wird, so befindet er sich in bezug auf letztere fast völlig in Ruhe. Das gleiche kennzeichnet aber auch die benachbarten Heliumsterne des Orion, mit denen z. T. der Nebel nach Ausweis lang exponierter Platten direkt verbunden ist. Seine einzelnen Teile sind dagegen in recht starker Bewegung zueinander. Die Radialgeschwindigkeiten verschiedener Stellen weichen bis zu 10 km/sec vom Mittel aller ab, aber in ganz unregelmäßiger Weise. Die neuen Lickbeobachtungen konnten die Annahme von *Fabry*, *Buisson* und *Bourget*<sup>10)</sup> nicht bestätigen, daß der Nebel um eine von uns aus gesehen NW—SO gerichtete Achse sich drehe, Gestalt wie Bewegung sind „chaotisch“. Über die Entfernung dieser Objekte fehlt uns bis heute fast jeder Anhalt. Immerhin kommen einige Forscher für den Orionnebel auf 600 Lichtjahre.

Die meisten chaotischen Nebel sind recht lichtschwach. Einzelne helle Stellen in ihnen hat man schon früher gefunden, in ihrer ganzen, oft riesigen Ausdehnung hat sie uns erst die Photo-

<sup>6)</sup> Die kugelförmigen Sternhaufen kommen auf 20—200 000 Lichtjahre und gehören zur Milchstraße. Vgl. Naturw. 1920, S. 746, und 1921, S. 769.

<sup>7)</sup> Naturwissensch. 1921, S. 438.

<sup>8)</sup> Proceedings of the Nat. Acad. of sciences of America 1921, Januar.

<sup>9)</sup> Analog *Lampland* und *Kostinsky* für M 51.

<sup>10)</sup> Astrophysical Journal 1914.

graphie gezeigt<sup>11)</sup>. Neben den leuchtenden Nebeln haben wir aber unstreitig auch dunkle, lichtverschluckende Massen im Kosmos. Fig. 2 zeigt ein derartiges Objekt nach dem neuen Lickbande. Wolf in Heidelberg hat eine ganze Reihe derartiger Stellen gefunden, Barnard 1918 eine Liste von 182 Objekten publiziert<sup>12)</sup>. Zuweilen liegen diese dunklen Nebel vermischt mit hellen, wie die beiliegende Aufnahme am 2,5-m-Reflektor der Mount-Wilson-Sternwarte zeigt (Fig. 3).

Alle diese Nebel, helle wie dunkle, erscheinen nun in oder nahe der Milchstraße, projizieren sich, unter Absorption des Lichtes der Hintergrundsterne auf das Sterngewimmel. Neuerdings ist nun der durch seine Arbeiten auf dem Gebiet der veränderlichen Sterne bekannte Leiter der Specola



Fig. 2. Dunkler Nebel in der Milchstraße.

vaticana P. Hagen S. J. mit der Behauptung aufgetreten, der ganze Himmel sei mit einem Netzwerk dunkler Nebel überzogen. In Monthly Notices 80 gibt er eine vorläufige kartenmäßige Darstellung seiner Ergebnisse langjähriger Beobachtungen. Nach ihm würden die Nebel immer zahlreicher und dunkler, je ferner man der Milchstraße sei, an den Polen derselben seien die fernsten schwachen Sterne und die Spiralnebel nur noch durch Lücken dieses dichten Schleiers sichtbar. Die weiteren Folgerungen Hagens (betreffend Bau des Milchstraßensystems usw.) seien hier fortgelassen, zumal man nach den vorläufigen Mitteilungen erst die ausführliche Wiedergabe der Beobachtungen abwarten muß, und auch anderweitige gleichartige Feststellungen (Die Naturwissenschaften, 9, 936, 1921).

In der Ende September herausgegebenen Jubiläumsnummer der Astronomischen Nachrichten kommt Hagen wenigstens zu einer Bestätigung seiner Beobachtungen dunkler Nebel im Stier durch Vergleich mit den Arbeiten von Dyson und

<sup>11)</sup> Vgl. hierzu und zum Folgenden u. a. M. Wolf, Die Milchstraße, Leipzig 1908.

<sup>12)</sup> Astrophysical Journal Bd. 49.

Melotte<sup>13)</sup> und Pannekoek<sup>14)</sup>, auf die noch näher eingegangen sei, zumal sie eine ganz andere Forschungsart zeigen, als bei den übrigen Nebeln üblich.

Die beste derzeitige Darstellung des gesamten Himmels haben wir in der Franklin-Adams-Karte der Roy. Astron. Society, 206 große photographische Blätter, deren jedes 300 Quadratgrade umfaßt. Alle sind mit dem gleichen Instrument und gleicher Expositionszeit in England und Südafrika aufgenommen. Die Karten enthalten etwa die Sterne bis zur 15. Größe und haben schon zu vielen stellarstatistischen Untersuchungen gedient. Insonderheit haben nun Dyson und Melotte die Gegend östlich der Plejaden näher unter-



Fig. 3. Dunkler Nebel in oder vor einem hellen, südlich  $\xi$  Orionis.

sucht. Es genügt wirklich ein Blick auf die entsprechenden Blätter, um sich von der Richtigkeit ihrer Behauptung zu überzeugen, daß man dort stellenweise mit dem Bleistift den Konturen dunkler Nebel nachfahren könne, die sich durch völliges Fehlen von Sternen kennzeichnen. Genaueres zeigte eine Abzählung aller Sterne des betreffenden Gebietes innerhalb je 100 Quadratminuten. Die Zahl der Sterne schwankt zwischen 74 (vereinzelt) und 2 (auf längeren Strecken), während entsprechend der Lage dieser Himmelsstelle zur Milchstraße nach den neueren Grooninger Arbeiten<sup>15)</sup> etwa 36 zu erwarten gewesen wären. Pannekoek benutzt nun diese statistischen Daten zusammen mit den Angaben der Bonner Durchmusterung und anderer Arbeiten zu weiteren, sorgfältig durchgeführten Untersuchungen. Wenn dieser große dunkle Nebel sich etwa in der durchschnittlichen Entfernung der Sterne 8. Größe be-

<sup>13)</sup> Monthly Notices of the Royal Astr. Soc. Bd. 80, 1920.

<sup>14)</sup> Proceedings Royal Academie Amsterdam XXIII, 1920, 2 Artikel.

<sup>15)</sup> Public. of the astron. laboratory in Groeningen Nr. 27.



findet, so müssen alle helleren in normaler Zahl vorhanden sein. Nehmen wir weiter an, der Nebel schwäche das Licht hinter ihm liegender Sterne um 2 Größenklassen, so muß die Zahl der Sterne  $11^m$  in dieser Gegend der Zahl der Sterne  $9^m$  bei normalen Verhältnissen entsprechen; umgekehrt kann man dann aus dem Fehlen der Sterne auf die ungefähre Entfernung des Nebels schließen. Verschiedene Mängel des Ausgangsmaterials, die wechselnde und zunächst nicht bekannte Absorption des Nebels machten den tatsächlichen Gang der Untersuchung wesentlich verwickelter als hier angedeutet. *Pannekoek* kommt am Ende des ersten Aufsatzes zu dem Resultat, daß der Nebel die Parallaxe  $+0'',0072 = 450$  Lichtjahre Entfernung habe. Er liegt also im 4fachen Abstände der Hyaden von uns. Der Hauptteil des Nebels ist nach *Dyson*  $9^\circ$  lang und  $3^\circ$  breit, was etwa  $65 \times 20$  Lichtjahren entspricht (Sirius ist von uns 10 Lichtjahre fern, die Sonne  $8\frac{1}{4}$  Minuten). — So richtig mir im ganzen die Ergebnisse der ersten Arbeit *Pannekoeks* scheinen, so skeptisch stehe ich der zweiten gegenüber, die aus der ersten weitere Folgerungen zieht. *Pannekoek* faßt den Nebel als Gaswolke auf und kommt dann auf Grund bekannter gaskinetischer Gesetze dazu, die Gesamtmasse des Nebels zum 4-milliardenfachen der Sonnenmasse anzunehmen!! Dieser riesige Körper, von uns nicht allzu fern, müßte dann die Bewegungen aller Sterne in seiner Nähe beeinflussen, z. B. würde die Sonne den Nebel in 2—3 Millionen Jahren umkreisen usw. *Pannekoek* weist noch auf einige (astrophysikalische) Möglichkeiten hin, all dies nachzuprüfen. „Besonders sei aber auf die Nachschrift der Arbeit hingewiesen, wo nach einer Bemerkung von *de Sitter* gesagt wird, daß die Annahme von kosmischem Staub<sup>19)</sup> statt Gas als absorbierender Materie zu wesentlich kleineren Massen und annehmbareren Folgerungen führen würde.

### III.

Bei allen Rätseln, die sie noch übrig lassen, wissen wir doch verhältnismäßig am meisten über die *planetarischen Nebel*. Sie stellen sich im Fernrohr als kleine, runde, oft scharf begrenzte grünliche Scheibchen dar, so den Anblick der Planeten Uranus oder Neptun etwa ähnelnd. Die neuere Photographie hat in ihnen eine Menge Einzelheiten erkennen lassen. Als Beispiele füge ich hier aus dem neuen Bande der Licksternwarte die Bilder von 4 typischen Vertretern bei (Fig. 4). Die meisten planetarischen Nebel haben sternartige Kerne, die im Fernrohr kaum sichtbar, photographisch sehr hell sind, also viel violettes und ultraviolette Licht aussenden. Mehr darüber unten. Wie schon 1864 *Huggins* fand, ist das Spektrum dieser Nebel ein gasförmiges, worüber ebenfalls später noch viel zu sagen ist.

Wir haben es also mit leuchtenden Gasbällen

<sup>19)</sup> v. *Seeligers* weithin angenommene Theorie der „neuen Sterne“ nimmt ebenfalls kosmischen Staub bzw. Meteoritenwolken an.

zu tun. Das Einzelstudium der zahlreichen Aufnahmen jedes von ihnen führt in *Lick XIII H. Curtis* zu der begründeten Annahme, daß viele von ihnen dickschalige Hohlkugeln sind; der knappe Raum verbietet hier auf Einzelheiten einzugehen. Es sei nur auf Fig. 5 verwiesen, die ein derartiges theoretisches Gebilde von verschiedenen Richtungen aus gesehen zeigt.

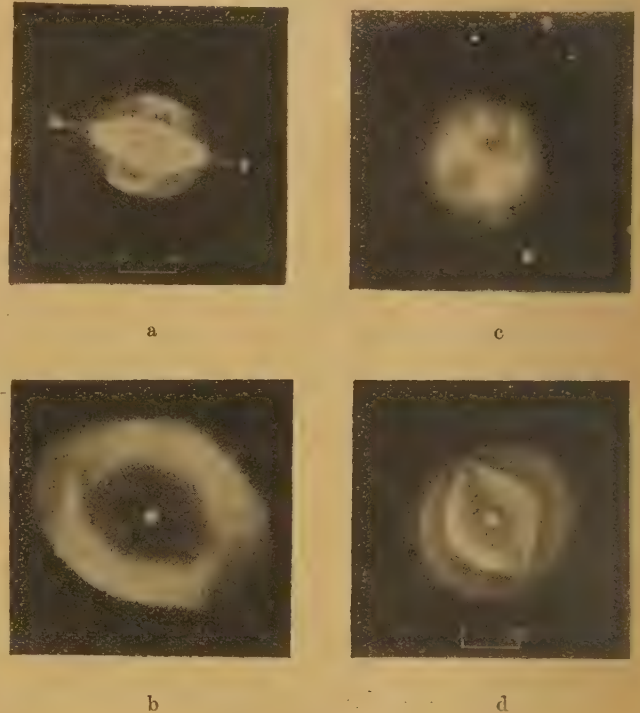


Fig. 4. Typen planetarischer Nebel.

a = N. G. C. 7009; b = Ringnebel in der Leier;  
c = Eulennebel; d = N. G. C. 7354.

Die planetarischen Nebel zeigen eine deutliche Zusammendrängung zur Milchstraße, gehören also schon danach diesem Weltsystem an. Einen zweiten Beweis geben die Radialgeschwindigkeiten dieser Nebel, die *Campbell*, *Wilson* und *Moore* auf der Licksternwarte und deren Tochtersternwarte in Südamerika ermittelt haben. Aus ihnen ergibt sich nahe die gleiche Bewegungsrichtung der Sonne, wie aus dem Entsprechenden für die helleren Fixsterne. Das „Bezugssystem“ ist also das gleiche. Endgültig bewiesen ist aber diese Zugehörigkeit zur Milchstraße durch *van Maanen*, der mit dem 1,5-m-Reflektor der Mount-Wilson-Sternwarte von 6 planetarischen Nebeln mit scharfem Kern oder Zentralstern die Parallaxen, d. h. die Entfernungen messen konnte. Durch photometrische Untersuchungen gelang es dem Verfasser, für weitere 20 die Entfernungen festzulegen, wie in der demnächst erscheinenden Arbeit des näheren dargelegt wird. Entfernung und der durch die Photographie gegebene Winkeldurchmesser (jeder einzelne planetarische Nebel hat in dem Lickbande sein Bild) geben die wahren Dimensionen dieser Gasbälle, im Durchschnitt etwa das 2000fache der



Entfernung Erde—Sonne, das 30fache der Neptunsbahn. Die Abstände der untersuchten Objekte schwanken zwischen 30 und 600 Lichtjahren. Sie gehören also teilweise zu unserer nächsten Nachbarschaft, denn für die Hyaden sind 130 Lichtjahre ermittelt worden und analog nach *Kapteyn*<sup>17)</sup> für die Sterne 6. Größe in der Milchstraße durchschnittlich 300 Lichtjahre, für die Sterne 8. Größe 560 Lichtjahre und für die Sterne 10. Größe 1050 Lichtjahre, während die Milchstraßensternwolken bis 30 000 Lichtjahre fern sind<sup>18)</sup>.

Die Zahl der planetarischen Nebel — der Lickband berichtet vollständig über 96 am ganzen Himmel — ist sehr gering im Verhältnis zu den sonstigen kosmischen Objekten. Auch die neue-

planetarischen Nebel. Zwischen diesen beiden Gestirnsarten sind aber direkte Übergänge gefunden worden. Zudem ist das Spektrum der sternartigen Nebelkerne mehr oder weniger identisch mit dem der O-Sterne.

Die Spektrogramme, die zur Ermittlung der Radialgeschwindigkeiten der planetarischen Nebel dienten, führten aber noch zu viel mehr interessanten Ergebnissen. Ähnlich wie vor vielen Jahren beim Ringsystem des Saturn konnten aus der Form der Spektrallinien innere Bewegungen bei einer Anzahl Nebel festgestellt werden; d. h. je nachdem die betreffenden Nebelpartien sich uns mehr oder weniger näherten oder entfernten, erschienen die Spektrallinien in verschiedenartiger Weise verzerrt (Fig. 6). In solchen ver-



Fig. 5. Modell eines planetarischen Nebels: Hohles Rotationsellipsoid, dessen verschieden dicke Schale aus leuchtendem Gas besteht. Anblick desselben für verschiedene Neigungen der Äquatorebene zur Sehrichtung.

ren Fortschritte der Astronomie haben nur wenige neue zu den altbekannten gefügt. Sie stellen jedenfalls Sonderfälle in der Entwicklung der Sterne dar. Hierfür sprechen auch folgende spektroskopische Ergebnisse. Nach der heute mehr und mehr sich durchsetzenden Russelschen Theorie entwickeln sich die Sterne von roten Riesengasbällen niedriger Temperatur und Dichte unter ständiger Kontraktion zu den heißesten Weißen, um dann sich wieder abzukühlen zu sehr dichten, roter und roter werdenden Zwergen. Die Höhe dieser Entwicklung sind die A- und B-Sterne der Harvardklassifikation. Dem Auftreten der hellen Wasserstoff- und Heliumlinien im Spektrum entsprechend schließen sich an die B-Sterne an die von *Wolf* und *Rayet* erstmalig beobachteten, O nach *Harvard*. Nur gering an Zahl (heute sind unter 200 000 Sternen einige 100 bekannt) fügen sie sich obiger normaler Entwicklung der Fixsterne nicht recht an, wie die

wickelten Fällen von Bewegung — der Distanz der beiden Stellen  $r_0 v_0$  entspricht ein Unterschied in der Radialgeschwindigkeit von 100 km/sec — kann von einer einfachen Rotation nicht die Rede sein. Bei anderen Objekten lagen die Verhältnisse einfacher und ließen sich gut als Effekt einer Drehung des Nebels um eine Achse deuten, die etwa senkrecht zur Sehrichtung steht. Die Rotationsgeschwindigkeit in den Randpartien der Nebel betrug dabei durchschnittlich etwa 10 km/sec. Ist für einen derartigen Nebel durch die bekannte Entfernung von uns auch der wahre Abstand eines so untersuchten Punktes vom Zentrum bekannt, so läßt sich — natürlich mit aller Vorsicht — die Umdrehungszeit eines solchen Gasballs ermitteln, und dann auch — in der Voraussetzung, daß das Newtonsche Gravitationsgesetz noch voll gültig ist, wogegen allerdings neben den möglichen Einflüssen von Strahlungsdruck und elektrischen Kräften (s. u.) allein schon das Aussehen vieler Nebel spricht — ihre Masse berechnen, ausgedrückt als Vielfaches der Sonnenmasse. Im Mittel aus 10 planetarischen Nebeln erhielt ich so 10 000

<sup>17)</sup> Public. of the Astron. Labor. of Grooningen Nr. 29.

<sup>18)</sup> Naturwissensch. 1920, S. 740.

Jahre Umdrehungszeit und das 10fache der Sonnenmasse.

Die Dichte eines derartigen Gasballs wäre dann weit unter dem Vakuum unserer Kathodenröhren<sup>19)</sup>, was für die unten zu besprechende Nicholsonsche Theorie von Bedeutung ist. Verfasser hat — als Nebenarbeit seiner photometrischen Untersuchungen — die Leuchtkraft der Nebel indirekt mit irdischen Lichtquellen zu vergleichen versucht. (Etwa wie die Flächenhelligkeit der Sonnenoberfläche nach *Langley* über 5000mal größer ist als die schmelzenden Eisens.)

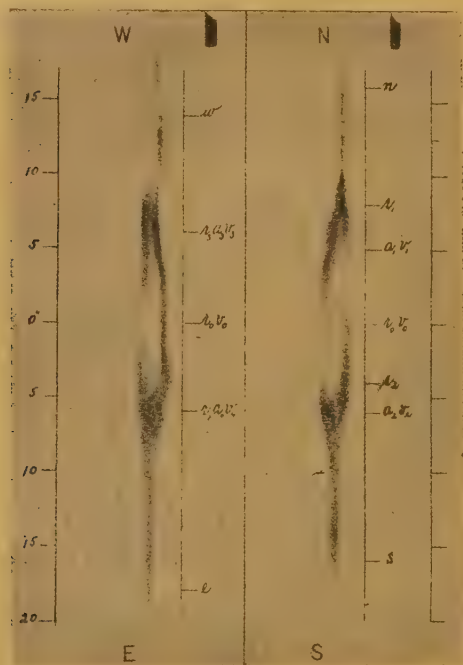


Fig. 6. Zeichnungen der Spektrallinie N, von N.G.C. 2392, Spaltstellung *a* in Richtung der kleinen, *b* der großen Achse des Nebels.

Für die hellsten Nebel fand sich die Flächenhelligkeit nahe gleich der der fluoreszierenden Glaswand einer einfachen kleinen Kathodenröhre. Weitere Untersuchungen in dieser Richtung, am Fernrohr wie im Laboratorium, womöglich noch spektralphotometrisch, können vielleicht wichtiges neues zur Theorie der planetarischen Nebel bringen.

*Campbell* und *Moore* versuchten obige Linienverzerrungen und Verdopplungen anders wie als Radialgeschwindigkeitsdifferenzen zu deuten. N.G.C. 7662 zeigte ähnliche Verhältnisse wie Fig. 5 und war für gleichzeitige Polarisationsuntersuchungen hell genug. Aber weder eben-, noch kreis- oder elliptisch polarisiertes Licht war in diesen Doppellinien nachweisbar. Ein Zee-

maneffekt lag also nicht vor, starke magnetische Kraftfelder, etwa wie in den Sonnenflecken, bewirken also nicht die Erscheinung. Die Frage der Anwesenheit starker elektrischer Felder, Starkeffekt, lassen die Beobachtungen vorläufig noch offen.

Von höchster Bedeutung ist nun noch die Frage, welche Elemente unter welchen physikalischen Bedingungen in den Nebeln am Leuchten sind. Die Beantwortung ist natürlich noch sehr unvollkommen. *Wright* stellt S. 242 des Lickbandes von 9 besonders untersuchten Nebeln die ermittelten Wellenlängen der Spektrallinien zusammen, 74 an Zahl. 14 davon gehören der bekannten Wasserstoffserie an, 12 (?) dem Helium. Eine größere Anzahl ist, da so schwach, erstmalig von ihm aufgefunden und vorläufig nicht mit irdischen Lichtquellen identifiziert. Die übrigen, schon länger bekannten Linien — 23 davon beobachteten schon *Huggins*, *Vogel* und *Scheiner* — haben manche Untersuchung bereits hervorgerufen. Am weitesten in ihrer Erklärung ist wohl *Nicholson* gekommen. Anknüpfend an die Arbeiten von *Schott* u. a. — Vorläufer der heutigen Bohrschen Atomtheorie — ermittelte er 1912 die Emission eines von ihm Nebulium genannten Atoms, bestehend aus einem 4fach positiv geladenen Kern und 4 Elektronen, die auf einem Kreise in gleichen Abständen um den Kern rotieren; desgleichen, wenn das Atom einfach oder doppelt + oder — geladen wird, d. h. 2, 3, 5 oder 6 Elektronen hat. Es gelang ihm, alle damals bei den Nebelflecken bekannten Linien darzustellen, sowie einige weitere als schwach anzukündigen, die dann auch nachträglich von *M. Wolf* in Heidelberg und *Wright* auf der Licksternwarte aufgefunden wurden. Wie im zweiten Abschnitt gesagt, haben die chaotischen Milchstraßennebel die gleichen Spektra wie die planetarischen. Aus interferometrischen Beobachtungen leiteten *Fabry-Buisson* und *Bourget* — wie, kann in der Kürze hier nicht gesagt werden — in Marseille ab<sup>20)</sup>, daß das Atomgewicht des Stoffes, der die Linien 3726 und 3729 A.E. erzeugt, 2,74 sein muß<sup>21)</sup>. In der weiteren Ausgestaltung seiner Theorie — auf anderen Wegen als *Bohr* — (die letzte Arbeit ist von 1918<sup>22)</sup>) nimmt *Nicholson* dann 2 verschiedene Elemente an, Nebulium mit dem Atomgewicht 1,31 und Archonium 2,95, die beobachtete Linien ergeben, während ein drittes Gas, Atomgewicht 0,32, bisher nicht nachweisbar war. Im Zusammenhang hiermit sei erwähnt, daß *Rutherford*<sup>23)</sup> durch (elektrische) Zertrümmerung des Stickstoffkerns ein neues Element mit dem Atomgewicht 3,01 gefunden haben will. — Daß wir es in den planetarischen Nebeln mit

<sup>20)</sup> *Astrophysical Journal* 1914, Bd. 40.

<sup>21)</sup> Gegen das Verfahren sind allerdings eine Reihe gewichtiger Einwände erhoben worden.

<sup>22)</sup> Ab 1912 eine Reihe Artikel in den *Monthly Notices*.

<sup>23)</sup> *Naturwissensch.* 1921, S. 77.

<sup>19)</sup> Noch unter der Größenordnung des zur Erklärung der Eiszeiten nötigen Nebels in dem Aufsatz von *Nölke*, *Naturwissensch.* 1921, S. 850.



verschiedenen Gasen zu tun haben, zeigte erstmalig *Wolf* am Ringnebel in der Leier und dem sogen. Dumbellnebel<sup>24)</sup>, für eine ganze Reihe dann *Wright*. Fig. 7 zeigt die Spektren des Leiernebels und des Nebels N. G. C. 2392. Der Spalt des Spektrographen wurde hierbei entfernt, so daß sich jede Linie in der Form abbildete, wie der Emission in den einzelnen Teilen des Nebels entspricht. Die wechselnde Größe und Gestalt der Bilder zeigt, wie verschieden die Gase in den Nebeln verteilt sind.

Die Nicholsonsche Theorie steht in vieler Beziehung im Widerspruch mit der sonst angenommenen Atomtheorie, hat sich aber in der Praxis bewährt. Jedenfalls bieten die planetarischen Nebel noch ein weites Feld für theoretische Untersuchungen, sei es dynamischer oder ato-

noch gelten sollte (die heißesten sonst bekannten Sterne erreichen 20 000 °). Nebel und Wolf-Rayet-Sterne bzw. ihre Spektren gehen im übrigen ineinander über. Viel ist hierüber schon geschrieben, mit den Worten *Wrights* „in konservativ wissenschaftlicher Art und spekulativer Phantasie“; ich will daher in Kürze nur zweierlei tun, einmal auf die schöne Darstellung *Guth-nicks*<sup>26)</sup> hinweisen, und dann in einer kleinen Zusammenstellung die Verhältnisse an Hand des Verhaltens charakteristischer Spektrallinien illustrieren. Bemerkt sei noch, daß alle Wolf-Rayet-Sterne die normale (1. Neben-) Serie des Wasserstoffs enthalten, desgleichen die zweite Nebenserie desselben, die aber nach *Bohr* und *Paschen* dem positiv geladenen Helium angehört<sup>27)</sup>.



Fig. 7. Geschichtete Emission in planetarischen Nebeln. a = Ringnebel in der Leier, b = N. G. C. 2392.

mistischer Natur. Das reiche Material des neuen Lickbandes wird dabei die nötige Stütze und Kontrolle geben. Zusammenfassend können wir die planetarischen Nebel als außerordentlich verdünnte Gasbälle betrachten, bestehend aus Elementen einfacher Atomstruktur, deren Leuchten auf Elektronenaustausch beruht.

Anscheinend wesentlich für diese Nebelklasse sind noch deren sternartige Kerne. Die Mehrzahl der Nebel enthält solche, bald mehr bald weniger hervortretend. *Curtis* kann deshalb wohl annehmen, daß sie in jedem planetarischen Nebel vorhanden sind. Die absolute Größe<sup>25)</sup> der Kernsterne ist gering. Nach meinen eigenen Untersuchungen scheinen die Flächenhelligkeiten der Nebel und die absoluten Helligkeiten ihrer Kerne nahe proportional zu sein. Trifft dies (an Hand größeren Materials nachgewiesen) zu, so dürfte die Erklärung sicher einiges zur Lösung des Problems der planetarischen Nebel beitragen. — Im Zusammenhang mit dem eingangs dieses Abschnitts Gesagten sind die Kerne also violette Sterne sehr geringer Leuchtkraft. Ihr Spektrum, helle und dunkle Linien gemischt, ist das der Wolf-Rayet-Sterne. Das Maximum des kontinuierlichen Grundes liegt weit im Ultraviolett, so daß sie eine außerordentlich hohe effektive Temperatur haben müßten. 50 000 ° etwa, falls bei diesen Objekten das Plancksche Strahlungsgesetz

| Objekt         | Kennzeichnung   |  |
|----------------|---|--|
| N. G. C.       | I. Linie 4686 A. E. vorhanden, und  | Nebel, Einteilung nach Wright.           |
| 7027           | a) „ 3426 A. E. heller als 3445 A. E.   |  |
| 7009           | b) „ 3426 A. E. schwächer als 3445 A. E.  |  |
| 6884           | c) „ 3426 A. E. und 3445 A. E. fehlt  |  |
| 6572           | II. „ 4686 fehlt,   |  |
| 40             | III. „ 3869 A. E. vorhanden 4686 fehlt,   |  |
| B. D. 30. 3639 | M. Wolf: Sonderklasse Sterne mit sehr schwacher Nebelhülle. M. Wolf: Typus I mit Maximum einer hellen Emission bei 4650 A. E. | Wolf-Rayet-Sterne Einteilung n. M. Wolf. |
| B. D. 56. 731  | Übergang von Typ II auf I M. Wolf Typ I: Max. einer hellen Emission bei 4686 A. E.  |  |

Vorstehendes mag vorläufig zur Kennzeichnung der planetarischen Nebel genügen. Über diese wie über die beiden anderen Nebelklassen enthält der Lickband noch viele interessante Bemerkungen, auf die ich aber hier nur hinweisen kann (Kohle und Stickstoff in den Nebeln?, Gasnebel und Novae, Klassifizierung der planetarischen Nebel ihrer Form nach usw.).

<sup>24)</sup> Sitzungsber. d. Heidelbg. Akadem. d. Wissensch. 1915, Heft 1.

<sup>25)</sup> Helligkeit der Sterne gesehen aus einer Entfernung von 32 Lichtjahren = 0,1 Parallaxe. Die absolute Größe der Sonne ist 5,0<sup>m</sup>, der Riesensterne 1<sup>m</sup> und mehr, der kleinsten Zwerge 8<sup>m</sup>—11<sup>m</sup>.

<sup>26)</sup> Die Kultur d. Gegenwart, Band Astronomie, S. 488 ff., Leipzig 1921.

<sup>27)</sup> Heidelberg. Akadem. d. Wissensch. 1915, Heft 14.

## IV.

In einem Gebiete des Himmels begegnen sich eigenartigerweise die Probleme der 3 Nebelarten. Unweit des südlichen Himmelspols finden sich zwei größere leuchtende Stellen, dem Anblick nach abgesprengte Teile der Milchstraße. Sie heißen die große und die kleine Magellanische Wolke. Alle die Milchstraße besonders kennzeichnenden Gestirnsarten finden sich in ihnen: kurzperiodisch Veränderliche, Wolf-Rayet-Sterne, Sternhaufen, chaotische und planetarische Nebel. Der große, vor etwa 2 Jahren verstorbene, amerikanische Astronom *E. C. Pickering* faßt diese Wolken als die uns nächsten Spiralnebel auf, gleichartig unserer Milchstraße. Neuerdings ist man aber davon abgekommen und subordinated sie unserem Weltsystem. *Shapley* ermittelte nämlich ihre Entfernung zu 60 000 Lichtjahren, durch die Methoden, die an Hand der Ergebnisse für die veränderlichen Sterne ihn zu den Abständen der kugelförmigen Sternhaufen geführt haben<sup>28)</sup>. Dann hat *Wilson* in dem neuen Lickbande die Radialgeschwindigkeiten von 17 planetarischen Nebeln in der großen und 1 in der kleinen Wolke bestimmt. Letztere ist +168 km/sec, erstere sind im Mittel +276 km/sec und schwanken je nach dem Ort an der Sphäre zwischen +251 und +309 km/sec. *Hertzsprung* zeigte nun<sup>29)</sup>, daß die Annahme, alle Nebel in beiden Wolken bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit parallel zueinander, zu einer guten gemeinsamen Darstellung aller Einzelwerte führt. Aus verschiedenen Gründen kann man nun annehmen, daß die totale räumliche Bewegung 625 km/sec dieser Nebel in bezug auf die Sonne und unsere nähere Umgebung, deren Fluchtpunkt westlich vom Orion liegt, identisch mit der des Gesamtsystems der Wolken ist. Beide Wolken sind danach wirklich isolierte Teile unserer Weltinsel, der Milchstraße.

Wird diese schließlich ganz das Einende sein, indem alles kosmische Geschehen vor sich geht, das Gebiet aller physikalischen Erscheinungen (auch im Sinne der allgemeinen Relativitätstheorie)? Schreitet die Forschung ebenso schnell weiter, wie in dem letzten Jahrzehnt, wie es betreffs der Nebelflecke die obige Darstellung zeigen wollte, so wissen wir vielleicht schon bald die Antwort.

## Zur Kenntnis des Selen.

Von Wilhelm Späth, Kiel.

Seit der Entdeckung der lichtelektrischen Eigenschaften des Selen im Jahre 1873 erfreut sich dieser Stoff dauernd eines großen Interesses. Die Möglichkeit der Lösung der verschiedensten Probleme mittels einwandfreier Selenzellen spornte immer wieder zu theoretischen und

praktischen Untersuchungen an und es entstand in den letzten Jahrzehnten eine reichhaltige Selenliteratur (1). In den meisten Arbeiten wird der Zusammenhang der Leitfähigkeit des Selen mit der Belichtung unter Variation irgendwelcher Faktoren untersucht. Leider sind die Ergebnisse der einzelnen Arbeiten bei der großen Anzahl der bestimmenden Faktoren nur schwer oder gar nicht miteinander vergleichbar. Auch ist die Formierung der Selenzellen — Überführung des amorphen Zustandes in die kristallinische Modifikation durch Erhitzen — mehr oder weniger dem Zufall unterworfen. Im allgemeinen erhält man durch geeignete Wahl des Tempos der Erwärmung und Abkühlung Zellen vom Typus Fig. 1a (harte Zellen) bzw. Fig. 1b (weiche Zellen). Im ersten Fall steigt die Leitfähigkeit bei Belichtung mit der Zeit allmählich bis zu einem Grenzwert an, im zweiten Fall dagegen erreicht die Leitfähigkeit schon in den ersten Sekunden der Belichtung ihren Maximalwert, um langsam absinkend einem Grenzwert zuzustreben (Ermüdung). Bei Verdunklung erreichen die weichen Zellen den Anfangszustand bedeutend rascher als die harten Zellen. Zur Erklärung dieses eigentümlichen Verhaltens der Selenzellen sind mehrere Theorien aufgestellt worden, auf die nicht näher eingegangen werden kann. In letzter Zeit gewinnt jedoch die Ansicht, daß es sich, abgesehen von einer Anzahl Nebenerscheinungen, um einen inneren lichtelektrischen Effekt handelt, die Oberhand.

Eine weitere Klärung der mannigfaltigen Fragen war nur durch Messungen aus ganz anderen Gesichtspunkten heraus möglich. Bereits *Lenard* und *Saeland* (2) fanden an Erdalkaliphosphoren einen engen Zusammenhang zwischen Phosphoreszenz und lichtelektrischer Wirkung. *Stark* und *Steubing* kamen zum Ergebnis, daß bei organischen Substanzen lichtelektrischer Effekt und Lumineszenz genetisch zusammenhängen. Ferner fand *Pauli*, daß bei der Herstellung von Phosphoren Selen sehr wohl die Stelle des Schwefels einnehmen kann. Diese Arbeiten, die aus einer Anzahl Aufsätze mit ähnlichen Ergebnissen angeführt sein mögen, machen es sehr wahrscheinlich, daß bei Belichtung des Selen eine Abspaltung von Elektronen aus dem Atomverband stattfindet. Durch diese Abspaltung von Elektronen ist jedoch auch eine Änderung des elektrischen Moments der Elementardipole bedingt. Es ist also zu hoffen, daß an Selen, und überhaupt an lichtelektrischen Stoffen, bei Belichtung gemeinsam mit der Änderung der Leitfähigkeit eine Änderung der Dielektrizitätskonstanten nachzuweisen ist. In der Tat konnte im Herbst 1919 das Vorhandensein des vermuteten Effekts vom Verfasser nachgewiesen werden (3).

Für die Versuche wurde eine dünne Selen-schicht zwischen zwei leitende Platten gebracht, von denen die eine für Licht durchlässig ist. Die

<sup>28)</sup> Vgl. Naturwissensch. 1921, S. 769.

<sup>29)</sup> Monthly Notices Bd. 80, S. 782, 1920/21.



Kapazität der verwandten Zellen betrug etwa 100 cm, ihr Ohmscher Widerstand  $10^6$  Ohm. Die Versuchsanordnung bestand im wesentlichen aus drei aufeinander abgestimmten Schwingungskreisen, einem Generatorkreis für ungedämpfte Schwingungen (Röhrensender in Rückkopplung), einem Zwischenkreis und einem Detektorkreis. Die Meßfrequenz mußte in Rücksicht auf die Leitfähigkeit der Zellen verhältnismäßig hoch gewählt werden und betrug ca.  $10^6$  Schwingungen pro Sek. Mit Hilfe eines Galvanometers im Detektorkreis konnte die Resonanzkurve des sehr schwach gedämpften Zwischenkreises aufgenom-

Dunkelwertes an. Der endgültige Kapazitätswert stellt sich unter ähnlichen Trägheitserscheinungen ein wie die Leitfähigkeit, insbesondere weisen die weichen Zellen ähnliche Ermüdungserscheinungen auch für den Kapazitätseffekt auf. Der Verlauf der Kapazität wird für die beiden Zellentypen ebenfalls durch Fig. 1 a und Fig. 1 b veranschaulicht.

Anschließend an diese Versuche sei noch in kurzen Zügen eine Theorie gegeben, deren Resultate das Verhalten der Selenzellen sehr gut wiedergeben. Es wird in den Zellen ein Gleichgewicht angenommen zwischen elektronenschaf-

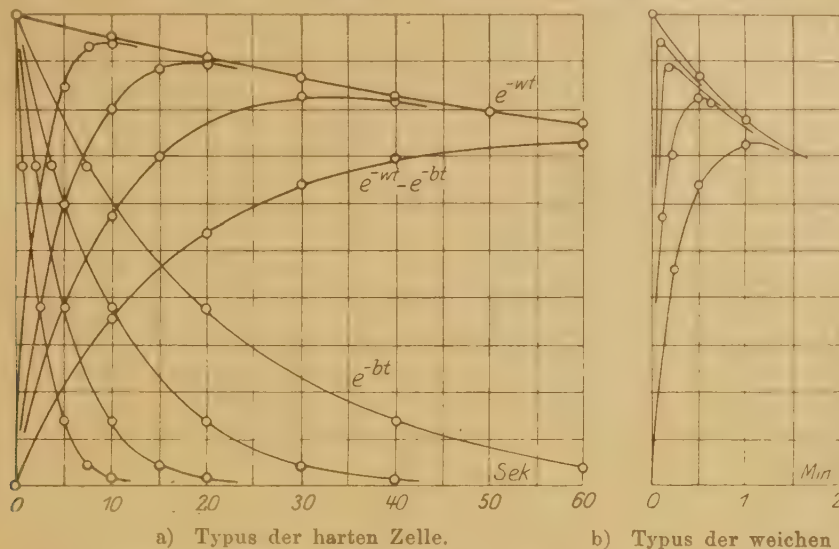


Fig. 1. Die Leitfähigkeit der Selenzelle steigt bei Belichtung bis zu einem Grenzwert an.

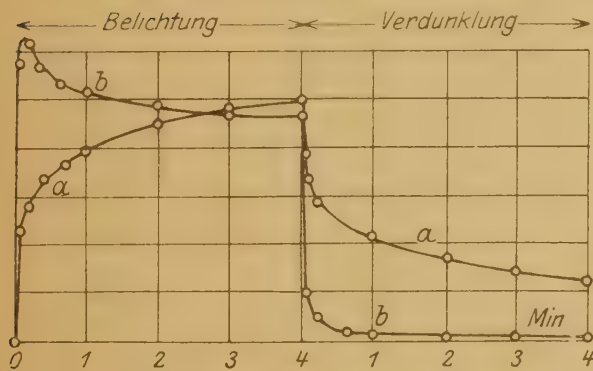


Fig. 2. Zum Ermüdungseffekt.

men werden. Änderte sich die Kapazität der im Generatorkreis eingeschalteten Zelle und damit die Frequenz, so durchlief der Ausschlag des Galvanometers ein Stück der Resonanzkurve. Durch diese Anordnung war eine kontinuierliche Aufnahme der Kapazitätsänderung bei Belichtung möglich.

Als *Hauptergebnis der Versuche* ist festzustellen, daß an jeder Zelle bei Belichtung, parallel mit der Änderung der Leitfähigkeit, eine Änderung der Kapazität stattfindet. Während die Leitfähigkeit etwa zwei- bis dreimal größer wird, steigt die Kapazität um 5—10 % ihres

fenden und elektronenverbrauchenden Ereignissen. Bei Belichtung wird dieses Gleichgewicht gestört und die für Leitfähigkeit und Kapazität erhaltenen Kurven stellen „Einschaltvorgänge“ dar, die zu einem neuen Gleichgewichtszustand führen. Wesentlich ist die Berücksichtigung des Umstandes, daß durch das angelegte elektrische Feld, zur Bestimmung der Leitfähigkeit, ein sekundärer elektronenverbrauchender Faktor auftritt, der die zu verfolgende primäre Gleichgewichtseinstellung mehr oder weniger modifiziert. Unter der Annahme einer zeitlich gleichbleibenden Elektronenerzeugung läßt sich für den reinen Lichteffect die Gleichung:

$$\frac{dn}{dt} = w N_0 - \alpha n^2 - b n$$

aufstellen, wo  $n$  die Anzahl der in der Volumeneinheit vorhandenen freien Elektronen,  $w$  die Wahrscheinlichkeit des Zerfalls eines Atoms infolge Belichtung,  $N_0$  die Anzahl der neutralen Atome in der Volumeneinheit,  $\alpha$  den Wiedervereinigungskoeffizienten und  $b$  den Bruchteil der durch Leitung verbrauchten Elektronen bedeutet. Sowohl für den zeitlichen Verlauf der Leitfähigkeit bei Belichtung und Verdunkelung als auch für die Abhängigkeit der Leitfähigkeit von der Belichtungsintensität werden aus dieser Gleichung

chung Kurven errechnet, die dem Verhalten der Selenzellen sehr nahe kommen.

Auf Einzelheiten sei nicht weiter eingegangen. Nur auf einen *wichtigen Umstand* sei kurz aufmerksam gemacht. Bei der Untersuchung der selektiven Eigenschaften eines lichtelektrischen Stoffes, z. B. in bezug auf die Frequenz des auffallenden Lichts, tritt  $w$  als Funktion der Wellenlänge  $w = w(\lambda)$  in obige Gleichung ein. Es ist ersichtlich, daß der primäre Effekt der Elektronenauslösung durch Licht verschiedener Wellenlänge, „gemessen“ durch die Größe des von einer bestimmten Spannung durch die Zelle getriebenen Stromes, in der beobachteten Abhängigkeit des Stromes von der Wellenlänge nur bedingt zum Ausdruck kommen kann. Bei kleinen Spannungen erscheint der selektive Effekt nur angedeutet, mit wachsender Spannung dagegen tritt der verwischende Einfluß der Wiedervereinigung zurück, der selektive Effekt erscheint ausgeprägter.

Große Schwierigkeiten bereitet jeder Theorie die Erklärung der *Ermüdung*. Es wurden meist die Absorptions- bzw. Leitfähigkeitsverhältnisse in sehr dünnen Schichten verantwortlich gemacht. So versucht *Sperling* (4) die Ermüdung durch zeitliche Veränderung der Absorption in den Oberflächenschichten zu erklären und nennt die Ermüdung deshalb auch „Schatteneffekt“. *Ries* (1) dagegen sucht einen wesentlichen, bestimmenden Faktor in der Tatsache, daß der spezifische Widerstand dünner Oberflächenschichten bis zu einer Schichtdicke von  $10^{-5}$  mm konstant bleibt, mit abnehmender Schichtdicke dagegen sehr rasch anwächst. Daß diese Erklärungen nicht stichhaltig sind, beweist die Tatsache, daß weiche Zellen Ermüdungserscheinungen auch für Röntgenstrahlen zeigen, wobei dünne Oberflächenschichten nicht in Frage kommen können. Ferner zeigen Zellen, bei denen die Elektronen parallel zu den Kraftlinien des angelegten Feldes wandern, ebenfalls Ermüdung, trotzdem sich keine dünnen, stromführenden Oberflächenschichten ausbilden können. Eine *befriedigende Erklärung* ist also bis jetzt *noch nicht gefunden* und könnte geradezu als Kriterium einer annehmbaren Theorie gelten.

Die oben angegebene Formel bleibt eine Erklärung der Ermüdung schuldig, da die Elektronenerzeugung als zeitlich konstant angesehen wurde. Ist jedoch  $w$  aus irgendwelchen Ursachen groß (geeignete Formierung, große Lichtintensität) und  $\alpha$  sehr klein (große Spannung), so kann die zeitliche Abnahme der neutralen Atome und damit die Abnahme der in der Zeiteinheit neu geschaffenen Elektronen nicht mehr vernachlässigt werden. Die Berücksichtigung dieses Abfalls der Elektronenerzeugung führt auf die Gleichung einer Kurve, deren Verlauf im wesentlichen bedingt ist durch die Kombination  $e^{-wt} - e^{-bt}$ . In Fig. 1 ist dieser Ausdruck für einen bestimmten Wert von  $w$  und einige Werte von  $b$  dar-

gestellt. Im linken Teil der Fig. 2 ist die Entstehung der Kurven ausführlich gezeichnet, im rechten Teil dagegen sind die Kurven durch Verkürzung der Zeitachse dem in Fig. 1 gewählten Maßstab näher gebracht. Die Kurven bringen, wie ersichtlich, den Ermüdungseffekt gut zum Ausdruck. Aus Fig. 2 lassen sich ohne weiteres eine Anzahl von Folgerungen für den Ermüdungseffekt ableiten, die mit den bekannten Eigenschaften der Selenzellen sehr gut übereinstimmen. Auf die wichtigsten Folgerungen sei kurz hingewiesen.

Hohe Meßspannung begünstigt das Auftreten der Ermüdung. Je kleiner die angelegte Spannung dagegen im Vergleich zur Sättigungsspannung ist, desto weniger ausgeprägt ist die Ermüdung, um bei genügend kleiner Spannung ganz zu verschwinden. Dies ist für manche Zwecke wichtig, denn es ist durch geeignete Wahl der Meßspannung möglich, Zellen zu erhalten, die bei Belichtung beinahe augenblicklich den neuen Leitwert annehmen und denselben auch beibehalten.

Je größer die Wahrscheinlichkeit  $w$  der Ionisierung der neutralen Atome ist, desto ausgeprägter ist die Ermüdung. Licht verschiedener Wellenlänge, aber gleicher Intensität, bedingt infolge des selektiven Effekts eine sehr verschiedene Ausbildung der Ermüdung. Ferner muß mit abnehmender Lichtintensität die Ermüdung verschwinden.

Jeder Einfluß, der die Lichtempfindlichkeit vermindert, bewirkt eine Verkleinerung der Ermüdung. So z. B. muß bei hohen Temperaturen, denen eine kleine Lichtempfindlichkeit entspricht, die Ermüdung weniger ausgeprägt sein als bei tiefen Temperaturen. Wie durch geeignete Wahl der Verhältnisse eine weiche Zelle „hart“ gemacht werden kann, so muß es nach obigen Ausführungen möglich sein, eine harte Zelle durch Anlegung einer entsprechenden Spannung und Bestrahlung mit Licht geeigneter Frequenz und Intensität „weich“ zu machen, wobei tiefe Temperaturen noch begünstigend wirken.

In ähnlicher Weise läßt sich das Verhalten des Kapazitätseffekts darstellen. Während jedoch die Leitfähigkeit nur durch die endgültig abgelösten Elektronen bestimmt wird, ist die Dielektrizitätskonstante stets ein Ergebnis aller insgesamt vorhandenen Dipole. Es liefern also gleichzeitig neutrale und ionisierte Atome Beiträge zur Dielektrizitätskonstanten. Wie für den Leitfähigkeitseffekt, so lassen sich auch für den Kapazitätseffekt eine Reihe von Folgerungen aus entsprechend aufgestellten Formeln ableiten, die die Eigenschaften des Kapazitätseffekts gut zum Ausdruck bringen.

#### Literatur:

1. Zusammenfassende Darstellung: *Ries*, Das Selen.
2. *Lenard* und *Saeland*, A. d. Phys. 1909, S. 476.
3. Inzwischen ist ein ähnlicher Effekt an Sidotblendephosphor festgestellt worden. Vgl.: *B.*



- Gudden u. R. Pohl*, Zur Kenntnis des Sidotblende-phosphors, *Ztsch. f. Physik I*, S. 365.  
4. *Sperling*, Beiträge zur Kenntnis der Selenzellen, Diss. Göttingen 1907.

## Besprechungen.

**Rohr, M. v.**, Die Brille als optisches Instrument. 3. Aufl. (Handbuch der gesamten Augenheilkunde, begründet von A. Graefe und Th. Saemisch, fortgef. von C. Heß, herausgegeben von Th. Axenfeld und A. Elschnig.) XIV, 254 S. und 112 Textabb. Berlin, Julius Springer, 1921. Preis geh. M. 66,—; geb. M. 78,—.

Das Buch erschien zuerst 1911 als Teil der zweiten Auflage des erwähnten Handbuchs; jetzt bei dessen dritter Auflage zum zweiten Male; daß der Verlag es selbst als 3. Auflage bezeichnet, kann zu Irrtümern führen.

Der Umfang des Buches ist ungefähr um die Hälfte vergrößert, einmal infolge neuer Brillenformen und Untersuchungen, aber auch durch die genauere Kenntnis der Brillengeschichte. — Beides ist zu einem merklichen Teile das Werk des Verfassers des Buches.

Die Anordnung ist insofern geändert, als der Verfasser zu der Überzeugung gelangt ist (VIII—IX), daß es „ein vergebliches Unterfangen sein würde, eine allgemeine Brillengeschichte zu schreiben“. Er hat deshalb der sachlichen Behandlung jeder einzelnen Frage eine geschichtliche beigelegt und den früheren geschichtlichen Teil hier mit verarbeitet.

Das Werk beginnt nach einer Einleitung und der Definition der Brille mit einer Darstellung der minder wichtigen Augenhilfen (Brillen zum Schutz gegen verschiedene Schädigungen, Taucherbrillen usw.). — Bei diesem, vielleicht weniger optisch als kulturgeschichtlich wichtigen Abschnitte findet sich eine wenig bekannte früher übliche Brille zum Schutz bei Eisenbahnfahrten, deren Kenntnis der Verfasser einer persönlichen Mitteilung verdankt, ein Beispiel für die Berechtigung seiner Mahnung im Vorworte, ihm durch öffentliche oder briefliche Mitteilungen behilflich zu sein. — Der Träger der erwähnten Brille muß freilich fürchterlich ausgesehen haben!

Auf einige Betrachtungen über die Randgestaltung der Brillengläser folgt der Hauptteil, der wieder aus zwei Hälften besteht: die Augenhilfen für Augen ohne und für solche mit Astigmatismus. Beide Arten werden zunächst ihrer dioptrischen Wirkung nach (mit dem ruhenden Auge) betrachtet und sodann wird ihre Verbindung mit dem bewegten Auge (Astigmatismus, Bildfeldwölbung und Verzeichnung) bei schiefer Durchblick untersucht. Einen Anhang bilden beide Male die dezentrierten Brillen für Schielende. Im einzelnen sei folgendes angeführt:

Brillen in Verbindung mit dem nicht astigmatischen ruhenden Auge. Behandelt werden die Begriffe des Scheitelbrechwertes, des Hauptpunktbrechwertes, der Dioptrie; der Einfluß der Brille auf die Bildgröße, die Sehschärfe, die Akkommodation; ferner die Wirkung einer Verschiebung der Brille. — Außer den Formeln sind Rechnungen und Schichtendarstellungen gegeben, die freilich nur für achsenametropische und für linsenlose Augen durchgeführt sind. — Es folgt die Einteilung der Brillen in Nahbrillen und Lupenbrillen (für Alterssichtige) einerseits und Fernbrillen andererseits. Sodann eine Behandlung des Unterschieds von Brennweite und Schnittweite sowie des Einflusses der Durchbiegung auf diesen Unterschied. Nachdem die

verschiedenen Durchbiegungen vom technischen Standpunkte aus besprochen sind, folgen die aus mehreren Linsen zusammengesetzten Brillen, namentlich die Fernrohrbrillen mit vergrößertem Netzhautbilde, die zwar schon früher gelegentlich verfertigt wurden, aber erst in neuerer Zeit unter dem Einflusse des Verfassers zu einer häufig benutzten Hilfe für Schwachsichtige geworden sind. Den Schluß bilden die Brillen, die ohne Betätigung der Akkommodation ein Sehen in verschiedenen Entfernungen erlauben (Vorhänger, Zweistärkenbrillen). Die Abteilungen dieses Abschnitts, bei denen durchweg die Gullstrandsche Dioptrienrechnung angewandt ist, sind der ersten Auflage gegenüber vielfach bereichert.

Brillen für nicht astigmatische Augen mit Berücksichtigung der Augenbewegung. — Die Grundlage der Betrachtung dieses Abschnitts bildet der astigmatische Fehler, der bei Bewegung des Auges um seinen Drehpunkt entsteht, also bei schiefer Durchblick durch das Brillenglas; sowie seine Hebung durch passende Durchbiegung. — Die Durchführung knüpft an die Namen W. H. Wollaston, F. Ostwalt, M. Tscherning, A. Gullstrand an. — Die gleichzeitige Hebung des Astigmatismus und der Bildfeldfehler (die auf die Schärfekegel bezogen werden müssen) ist meist unmöglich, und die Verzeichnung kann überhaupt bei einfachen Brillen mit Kugelflächen nicht beseitigt werden. — Der ersten Auflage gegenüber sind hauptsächlich zwei Zusätze zu beachten: geschichtlich ist uns die allmähliche Verbreitung der Kenntnis des Augendrehpunkts genauer bekannt geworden (hauptsächlich durch Aufsätze und Anregungen des Verfassers), und außerdem ist besonders durch E. Weiß die Bedeutung einer falschen Annahme des Ortes des Augendrehpunktes untersucht worden. Die Grundsätze dieses Abschnitts werden auf alle im vorhergehenden Abschnitte behandelten Brillen angewandt. — Bei den einfachen Brillen werden die passenden Durchbiegungen (Tscherningsche Kurve) und die Starbrillen mit einer asphärischen (deformierten Kugel-) Fläche (Gullstrandsche Starbrillen) besprochen.

Das bis dahin gesagte wird nun auf die Brillen für astigmatische Augen angewandt. Hier tritt an Stelle einer Kugelfläche eine zweifach symmetrische Zylinder- oder torische (Wurst- und Tonnen-) Fläche. (Beide Grenzflächen so zu machen, bietet keine praktischen Vorteile.) — Für das ruhende Auge wären alle möglichen solchen Flächen gleichwertig; die Berücksichtigung der Bewegung des Auges gibt Veranlassung für jeden Fall (nach der auf H. Boegehold zurückgehenden Behandlung) eine bestimmte torische Fläche mit einer bestimmten Kugelfläche, bei Starbrillen mit einer asphärischen Fläche, zusammenzusetzen. — Man hat die astigmatischen und anderen Fehler nur in den beiden Symmetrieebenen behandelt, die Grundzüge waren schon vor zehn Jahren bekannt, aber Rechnungen und Versuche der wissenschaftlich arbeitenden optischen Werkstätten haben unsere Kenntnisse doch erheblich erweitert. Hier werden die Namen H. Boegehold, J. Spanuth, E. Weiß genannt.

Auf diese Sonderbehandlung der Brillenarten folgt noch die gemeinsame Betrachtung besonderer Fehler. — Von den Farbenfehlern kommen die in der Achse bei Brillen nicht in Frage. — Die Vergrößerungsunterschiede sind bei einfachen Brillen nicht zu heben — die genaue Feststellung verdankt man wieder E. Weiß —, die zusammengesetzten Starbrillen haben sich bis jetzt nicht einbürgern können; doch geben

Fernrohrbrillen die Möglichkeit zur Hebung des Farbenfehlers.

Die Raumvorstellung wird durch die Brille in mehrfacher Weise geändert. Die Verkleinerung des Gesichts- und Blickwinkels durch die einfache Zerstreuungslinse und seine Vergrößerung durch die einfache Sammellinse ändert die Perspektive. Zu einer weiteren Tiefenfälschung führt die beidäugige Betrachtung, für die der Verfasser auf sein Buch über binokulare Instrumente verweist. Die Verzeichnung verwickelt die Aufgabe noch weiter. — Endlich kommt der Verfasser noch auf den Fall ungleichsichtiger Augen und die hierfür angefertigten Anisometrop Brillen zu sprechen.

Den Schluß des Textes bildet ein kurzes Kapitel über die Entwicklung der Lehre von der Brille. Die ersten Anfänge einer Brillenkunde findet man um 1600, die Quellen sind noch ziemlich dürftig, z. T. von sachkundigen Verfassern gemachte Mitteilungen. Im 18. Jahrhundert kommt das Optikerhandwerk auf und verfaßt Schriften zur Belehrung der Käufer, während auch einzelne Männer der Wissenschaft sich der Brille annehmen. — Im 19. Jahrhundert knüpfen sich weitere Fortschritte an die Bestrebungen von F. C. Donders und an die Entstehung großer Brillenwerke in Amerika. — Die Theorie wird seit etwa 1900 durch F. Ostwald, M. Tscherning, A. Gullstrand und ihre Nachfolger streng begründet. — Der Verfasser erwähnt auch die Optikerschulen, optischen Zeitschriften und die Werke über Brillengeschichte.

Es folgt ein Quellen- und ein Sachverzeichnis. Das erstgenannte enthält manchen berühmten Namen, beim Nachschlagen im Text findet man zuweilen, daß den Träger ein eigener Augenfehler zur Beschäftigung mit der Brille veranlaßt hat.

Der Verfasser hat in dem Bestreben, über alles Auskunft zu geben, was mit seinem Gegenstande im Zusammenhang steht, einen ungeheuren Stoff zusammengebracht, der das Staunen jedes Lesers erregen wird, auch wenn er sich von der Meinung freigemacht hat, die Brille sei eine sehr einfache Sache, über die sich nicht viel Besonderes sagen lasse.

H. Boegchold, Jena.

**Ladenburg, Rudolf, Plancks elementares Wirkungsquantum und die Methoden zu seiner Messung.** Mit 12 Abb. Leipzig, S. Hirzel, 1921. Preis M. 8,—.

Die Quantentheorie, die seit ihrer Begründung durch Max Planck im Jahre 1900 in raschem Triumphzuge fast das ganze Gebiet der Physik erobert hat, steht und fällt mit der Existenz der fundamentalen Konstanten  $h$ , des sogenannten Planckschen „elementaren Wirkungsquantums“. Diese bedeutungsvolle Größe, die bekanntlich zuerst von Planck zur Ableitung seines Strahlungsgesetzes in die Theorie eingeführt wurde, erwies sich in der Folgezeit nicht nur als die Beherrscherin sämtlicher molekularer Prozesse, sondern auch gleichsam als die oberste Eichinstanz aller atomaren Größen überhaupt. Es ist daher, bei dem heutigen Stande der Forschung, eine lehrreiche und dankenswerte Aufgabe, die verschiedenen Methoden, die zur Messung der Größe  $h$  dienen, einer eingehenden und kritischen Durchmusterung zu unterziehen. Gibt es doch jetzt — kaum mehr als 20 Jahre nach Plancks genialer Schöpfung — schon 5 oder 6 Methoden, die man als Präzisionsmessungen von  $h$  ansehen darf. In der vorliegenden kleinen Broschüre hat Ladenburg diese Aufgabe mit der sicheren Hand des erfahrenen Fachmanns gelöst. Die Darstellung ist

klar und übersichtlich und bietet auch dem mit dem Stoffe Vertrauten eine anregende Lektüre.

In einem einleitenden, theoretischen Teil entwickelt der Verfasser zuerst die Grundlagen der verschiedenen  $h$ -Bestimmungen aus einheitlichen Gesichtspunkten. So gewinnt er mit Hilfe axiomatischer Sätze (Existenz diskreter Atomzustände, Bohrsche Frequenzbedingung, Korrespondenzprinzip) mit einem Schläge Plancks Strahlungsgesetz, die Bohrschen Serienformeln und die Einsteinsche Quantengleichung.

In dem folgenden, experimentellen Teile werden dann die einzelnen Meßmethoden und bisherigen Ergebnisse kritisch erläutert. Das Strahlungsgesetz liefert zwei Methoden, je nachdem die spektral zerlegte Strahlung oder die Gesamtstrahlung (Stefan-Boltzmannsches Gesetz) als Ausgangspunkt dient. Die Quantengleichung Einsteins, die als Spezialfall der Bohrschen Frequenzbedingung angesehen werden kann, bildet die Grundlage für die Messungen des lichtelektrischen Effektes (Millikan, Hennings und Kadesch), für die Bestimmungen der Resonanz- und Ionisierungsspannungen (Franck und Hertz u. a.) und für die Messung der Grenzfrequenz im kontinuierlichen Röntgenspektrum (Wagner, Duane und Hunt, u. a.). Diesen Präzisionsbestimmungen reihen sich ebenbürtig die Feinstrukturmessungen von Paschen an den Wasserstoff- und Heliumlinien an, die auf Grund der Bohrschen Theorie der Spektralserien und ihrer Weiterbildung durch Sommerfeld eine neue Exaktbestimmung von  $h$  gestatteten. Endlich führt auch die Messung der chemischen Konstanten, die in bekannter, zuerst von Sackur, Tetrode und Stern berechneter Weise mit  $h$  zusammenhängt, zu einer Bestimmung dieser Größe, die allerdings zurzeit nicht hinreichende Genauigkeit besitzt.

Eine Zusammenstellung und kritische Bewertung der einzelnen Ergebnisse führt den Verfasser dazu, als sicherstes Resultat:  $h = 6.54 \cdot 10^{-27}$  (erg. sec) „mit einer Genauigkeit von vielleicht 2 Promille“ anzusehen. Auf Grund dieses Wertes wird am Schluß eine ganze Reihe wichtiger Atomkonstanten berechnet.

Ein ausführliches Literaturverzeichnis erhöht noch den Wert der kleinen Schrift, die jedem für die experimentellen und theoretischen Grundlagen der Quantenlehre Interessierten warm empfohlen sei.

F. Reiche, Breslau.

**Rinne, F., Röntgenographische Feinbaustudien 1–4.**

(Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften XXXVIII Nr. IIL.) Leipzig, B. G. Teubner, 1921. Preis M. 5,— + Teuerungszuschlag.

Das Leipziger Institut für Mineralogie und Petrographie widmet sich mit Intensität und Ausdauer der Anwendung der Röntgeninterferenzen zur Strukturbestimmung von Kristallen. Außer F. Rinnes eigenen Untersuchungen stammen eine Reihe von Dissertationen aus dem Leipziger Institut, so die von E. Schiebold, der in dem vorliegenden Band von 4 Dissertationen gemeinschaftlich mit Rinne als verantwortlich zeichnet. Es sei aber daran erinnert, daß auch P. Niggli's umfassende Untersuchung über die Geometrie des Diskontinuums durch den Wunsch veranlaßt worden ist, für die Arbeiten im Leipziger Institut einen Leitfaden zu schaffen.

Es ist eine Eigentümlichkeit der Leipziger Arbeiten, daß in ihnen die Laueaufnahme eine überwiegende Rolle spielt, während sonst zu Strukturermittlungen im allgemeinen das Bragg'sche Spektrometerverfahren oder die Debyesche Kristallpulvermethode vorgezogen



wird. Für die Verwertung der Laueaufnahmen sind halbstatistische Methoden ausgearbeitet worden, die mit erheblicher Sicherheit einen Schluß auf die dem Aufbau zugrundeliegende Raumgruppe ziehen lassen (d. h. auf das Schoenfliesche „Punktsystem“). Manchmal bleibt die Auswahl zwischen 2 oder 3 Raumgruppen unentschieden und die Strukturbestimmung kommt dann nicht weiter. In anderen Fällen, wie bei *H. Espigs* Untersuchung über *Karborund* (CSi) läßt sich unter Zuhilfenahme der sonstigen kristallographischen Symmetrie (Ätzversuche) die Auswahl zugunsten einer bestimmten Raumgruppe vornehmen und darüber hinaus eine volle Strukturbestimmung erreichen, indem die Verschiebung der C- und Si-Gitter gegeneinander angegeben wird. Obwohl die Bestimmung nicht als eindeutig anerkannt werden kann, zeigt sich doch ein enger Parallelismus zwischen den beobachteten Intensitäten an rund 80 z. T. sehr komplizierten Interferenzen (z. B. (8, 6, 2, 15)) und denjenigen Stärken, die sich auf Grund des Strukturvorschlages berechnen lassen. Sicherlich wird man in Anbetracht dieser vielfachen Kontrolle der von *Espig* vorgeschlagenen Struktur (sie ist nicht einfach und ist auch nicht so einfach wie möglich dargestellt) das gleiche Vertrauen entgegenbringen, wie einer Bestimmung auf Grund der etwas durchsichtigeren Bragg'schen Methode.

Die drei mit der *Espigs*chen zum vorliegenden Bande vereinten Arbeiten betreffen:

*Charlotte Berndt*, Über die Raumgruppe des Olivins ( $(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$ ),

*Max Mechling*, Über die Kristallstruktur des Kobaltglanzes  $\text{Co}(\text{AsS})$ ,

*Charlotte Kulaszewski*, Über die Kristallstruktur des Turmalins.

Die letzte Arbeit enthält Tabellen über die Reflexe an 763 Netzebenen des Turmalins! Sie stellt als Endergebnis 2 Raumgruppen ( $\mathcal{C}_{3v}^1$  und  $\mathcal{C}_{3v}^2$ ) zur Auswahl.

P. P. Ewald, Stuttgart.

**F. Rinne, Die Kristalle als Vorbilder des feinbaulichen Wesens der Materie.** V, 101 S. und 100 Abbildungen. Berlin, Gebr. Borntraeger, 1921. Preis M. 25,—.

Die Kristallbaulehre wird hervorgehoben als Grenzgebiet zwischen Physik und Chemie. Die Kristalle sollen als Ideal des anisotropen Baues überhaupt gelten, dem sich die sonstigen anisotropen Gebilde, die Atome und Moleküle mehr oder weniger nähern. Dementsprechend soll eine konsequent durchgeführte neue Begriffsbildung Stereochemie und Kristallbaulehre zu einer allgemeinen „Feinbaulehre“ zusammenfließen lassen.

Die verschiedensten Kristallerscheinungen, wo physikalische und chemische Begriffe zusammenfallen, unterstützen diesen Gedanken: Mischkristallbildung und Kristallverwachsungen, Morphotropie und Isotypie; Ferner die Wirkungen der Oberflächenkräfte und Nebenvalenzen: Kristallwachstum, -auflösung, -ätzung. Abgabe von Kristallwasser u. a. M. Die Quellung von Eiweißkristallen soll die Analogie der deformierenden Wirkung chemischer und physikalischer Kräfte zeigen. Der Einfluß des Lösungsmittels auf die Kristallform abgeschiedener Kristalle wird in Beziehung gebracht zu den Wechselwirkungen, in die zwei chemisch reagierende Körper unmittelbar vor der Reaktion eintreten.

Man ist stellenweise im Zweifel über die reelle Bedeutung der Analogien, die gezogen werden. Jedenfalls

geht der Verfasser zu weit im letzten Abschnitt, der „Kristallphysiologie und Systematik der Atomarten“ überschrieben ist und eine Analogie zieht zwischen dem „physiologischen“ Wechsel der Kristalleigenschaften (etwa unter Wirkung von Temperaturveränderungen) und der Ungleichmäßigkeit eines Elementes je nach seinem Aufbau aus verschiedenen Isotopen.

Das Buch bringt eine Fülle interessanter Einzelerscheinungen, z. T. eigene neue Ergebnisse des Verfassers.

M. Polanyi, Berlin-Dahlem.

**Nesper, Eugen, Handbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie.** 2 Bände. Berlin, Julius Springer, 1921. Preis M. 390,—.

*Nesper* will in dem neuen Werk, in seiner Art das umfangreichste, das bisher erschienen ist, eine zusammenfassende moderne Darstellung der drahtlosen Telegraphie geben, in welcher die historische Entwicklung, die wichtigsten Konstruktionsgesichtspunkte, die Apparate und Stationen auf möglichst breiter Basis wiedergegeben sind. Die Anordnung des Stoffes soll gleichzeitig so sein, daß zur eingehenden Information über ein Spezialgebiet nicht das Studium des ganzen Buches erforderlich ist. In der Einleitung wird nach Aufzählung der Hauptanwendungsgebiete ein oberflächlicher Überblick über die Phänomene und den Mechanismus der drahtlosen Zeichenübermittlung gegeben. Es folgt dann die historische Entwicklung, dann die Meß- und Beobachtungsinstrumente, die physikalischen Grundlagen, die verschiedenen Sendeverfahren und ihre physikalischen Erscheinungen, die Antennen, die Strahlung und der Empfang bzw. die Empfänger, dann noch einmal die Hochfrequenzmeßtechnik und besonders eingehend die Wellenmesser, dann die Apparate und ihre einzelnen Teile und Eigenschaften, die drahtlose Telephonie, und zum Schluß ein 100 Seiten umfassendes Literaturverzeichnis und Register. Das Werk ist entsprechend seinem großen Umfang, über 1200 Seiten, sehr reichhaltig. Ein Mangel des Buches ist, daß es nicht gelungen ist, dem Außenstehenden ein klares Bild vom Stand der Technik zu geben. Es wird Wichtiges und Unwichtiges ganz gleichwertig nebeneinander behandelt und vielfach gleichwertig mit den dicksten Überschriften versehen. Oft sind Dinge, die gerade nur zum Patent angemeldet und veröffentlicht wurden, ohne daß sie eigentlich irgendwelchen praktischen Wert haben, eingehend behandelt und mit den schönsten Schaltungsschematas illustriert, vielfach wohl nur, um Namen zu nennen. Andererseits fehlen die Ableitungen und mathematischen Behandlungen der Erscheinungen, wie sie jeder drahtlose Techniker braucht. *Nesper* führt wohl an einer einzigen Stelle ein paar Differentialgleichungen an, aber im übrigen Buch wird jedes Differential und jede Ableitung einer Formel vollkommen vermieden; *Nesper* gibt nur die aus den Theorien sich ergebenden Endformeln an. Wenn man schon in einem großen Lehrbuch überhaupt Differentialrechnungen zuläßt — und heute läßt sich dies meiner Meinung nach überhaupt nicht mehr umgehen —, so erwartet der Techniker doch wenigstens eine ganz kurze übersichtliche Entwicklung der Grundformeln, weil nicht durch die Formeln selbst, sondern nur durch ihre Ableitung ein klares Bild von den Vorgängen gegeben wird. Ich hätte dies für wichtiger gehalten als so manches Kapitel, wie z. B. die Aufzählung der in der drahtlosen Technik verwendeten Rohmaterialien! — Man wird vielfach nicht recht klar, für wen das Buch eigentlich geschrieben ist; man könnte oft meinen, daß es nur als eine populäre Darstellung ge-

dacht war, oder als eine Zusammenstellung von Veröffentlichungen und Patenten als Grundlage für Patentstreitigkeiten. — Die Darstellung ist einseitig. Die Entwicklung ist dort, wo *Nesper* sie nicht für die Firma beansprucht, bei der er in der Hauptsache tätig war, meist den Amerikanern und Engländern zugesprochen. *A. Meißner, Berlin.*

## **Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.**

### **Über künstliche Spezifizierung von eiweißspaltenden Enzymen.**

#### *Vorläufige Mitteilung.*

Im Anschluß an die Ausführungen von *U. Friedemann* über das d'Hérellephänomen (9, 1010, 1921 dieser Zeitschrift) soll hier kurz über eine Beobachtung berichtet werden, die vielleicht zum Verständnis jener Entdeckung etwas beitragen kann.

In einer in Bälde erscheinenden Arbeit über den Vorgang der enzymatischen Eiweißspaltung wird an Hand mannigfacher Versuche eine Theorie der Eiweißenzymwirkung entwickelt werden, die es als möglich erscheinen ließ, daß ein Enzym sich bei der Einwirkung auf ein Substrat *in vitro* dahin verändert, daß es nachher einen gewissen, relativen oder absoluten Grad von Spezifität für dieses Substrat gewonnen hat. Eine solche Fermentlösung würde dann also gleichsam auf das betreffende Substrat gezüchtet sein, dieses besser verdauen als ein anderes und besser als Fermentlösungen gleicher Ausgangsbeschaffenheit, die auf andere Substrate gewirkt hätten.

Die Versuche haben diese Vermutung bereits an mannigfaltigen Substraten bestätigt, und zwar kann der Effekt nicht gering sein, da er sich manifestiert, obwohl die Bedingungen der Vergleiche — verschiedene Löslichkeit und Verdaulichkeit der Proteinkörper, bei Organ- oder Bakterienextrakten verschiedene hemmende oder fördernde Beimengungen — geeignet sind, ihn zu verwischen.

Wenn beispielsweise — auf die Einzelheiten der Versuchsanordnung kann hier nicht eingegangen werden — eine 0,5prozentige Trypsinlösung in phosphathaltiger Lösung von 1. Fibrin, 2. Casein, 3. Ricin gleicher Gewichtsmengen einige Zeit unter Toluol gewirkt hat, so verdaut nachher in einer Vergleichsprüfung das Fibrin-Trypsin (wie es kurz genannt sei) das Fibrin besser als die beiden anderen Fermentlösungen, entsprechend das Casein-Trypsin das Casein und das Ricin-Trypsin das Ricin. Es ergibt sich also nicht, wie man nach der herrschenden Anschauung erwarten sollte, nachher eine für alle Substrate gleiche Reihenfolge noch vorhandener Wirkungskraft oder gar, wie man aus der reaktionskinetisch hemmenden Rolle der von der „Züchtung“ her anwesenden Reaktionsprodukte erwarten könnte, eine besondere Schwäche gegenüber dem bisherigen Substrat, sondern jene Erscheinung einer relativen Spezifizierung, die jedenfalls stärker ist als diese hemmenden Einflüsse.

Bei den Versuchen zeigte sich auch, daß die relative Spezifität des „gezüchteten“ Ferments um so ausgeprägter ist, je weiter die Substrate ihrer biologischen Herkunft nach auseinander stehen. Auch scheint die Dauer der „Züchtung“ und auch des anschließenden Verdauungsversuches für den Grad der manifesten Wirkung von Bedeutung zu sein. Im übrigen muß bezüglich der Deutung auf jene ausführliche Darstellung verwiesen werden. Erst danach

wird es angemessen sein, die biologischen Folgerungen daraus zu ziehen.

Eine weitere Beobachtung, über die in der erwähnten Arbeit ausführlicher berichtet wird, dürfte vielleicht ebenfalls bei der weiteren Klärung des in Rede stehenden Phänomens dienen können. Bringt man eine Caseinlösung in Phosphatpuffergemisch von schwacher Alkaleszens bei Bruttemperatur in Pergamentdialyse gegen die gleiche Salzlösung, so nimmt der Caseingehalt der Binnenlösung ab, während gleichzeitig das Dialysat in zunehmendem Maße proteolytische Eigenschaften, und zwar — nicht ausschließlich, aber bevorzugt — dem Casein gegenüber annimmt. Zusatz von Toluol und Chloroform sowie gleichzeitige Kontrollen ohne Dialyseanordnung sichern gegen Täuschung durch Bakterien. Außerdem gelingt der Versuch auch bei Temperaturen von 45 bis 50°, wobei freilich die restierende Fermentwirksamkeit leidet. Die Zeiten bis zum völligen Schwund des Caseins variierten auf Grund noch nicht ganz durchsichtiger Bedingungen, im bisher raschesten Falle war in 200 ccm einer 0,5prozentigen Lösung, die gegen 500 ccm dialysierte, nach weniger als 7 Stunden kein Casein mehr nachweisbar, natürlich bei Caseinundurchlässigkeit der Membran. Von neuerlich zugefügten 100 ccm 1prozentiger Caseinlösung war nach 12 Stunden (zwischen durch nicht geprüft) nichts mehr nachzuweisen. Die Lösung zeigte jetzt *in vitro* auch erhebliche Fermentwirksamkeit, die sich auch analog den Erscheinungen bei dem d'Hérellephänomen durch mehrere „Generationen“ von Proben mit jedesmaliger Verdünnung von 1 : 6 bei langsam abnehmender Wirksamkeit verfolgen ließ.

Ist die Täuschung durch Bakterien schon durch die Anordnung, die Kontrollen sowie die Zeitdauer auszuschließen, so noch evidenter durch folgende Modifikation, die zugleich die Beziehungen zu den von *d'Hérelle* und seinen Nachfolgern angewandten Methoden noch deutlicher macht. Saugt man eine Casein-Phosphat-Lösung durch ein Membranfilter, welches das Casein nicht durchläßt, so zeigt das Filtrat im Verdauungsversuch *in vitro* beträchtliche Fermentkraft gegenüber dem Casein, so beträchtlich, daß die Ausgangslösung in 12 Stunden und weniger hätte caseinfrei gemacht werden müssen, wenn nicht — wie angenommen werden muß — irgendwelche Faktoren dort deren Entfaltung hemmen würden, denn in der Tat bleibt die Caseinlösung unter Toluol im Glase wochenlang ohne gröber nachweisbaren Caseinschwund.

Da ja in den d'Hérelleschen Versuchen auch stets durch ein Chamberlandfilter filtriert wurde, dürfte die Analogie beachtenswert sein. Die Erscheinung ist auch mit anderen Eiweißlösungen reproduziert worden, beim Casein ist sie besonders ausgeprägt.

Bezüglich der Einzelheiten der angeführten Beobachtungen sowie den Versuch einer Erklärung muß ebenfalls auf jene erwähnte, demnächstige zusammenfassende Darstellung hingewiesen werden.

Göttingen, 6. Dezember 1921. *Rudolf Ehrenberg.*

## **Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.**

**Die Tiefen des Weltmeeres.** Die kritische Verarbeitung des gesamten vorliegenden Materials über Lotungen und Darstellung der Tiefenverhältnisse der Ozeane auf drei flächentreuen Karten im Maßstabe



1 : 40 Millionen durch *Maa Groll* im Jahre 1912 ließ sogleich die neue Aufgabe entstehen, die mittlere Tiefe des Weltmeeres und seiner Teile neu zu ermitteln. Diese behandelt *Erwin Kossinna* (in Heft 9 der Veröffentlichungen des Instituts für Meereskunde N. F. A. Geographisch-naturwissenschaftliche Reihe, Berlin 1921) unter dem Titel: Die Tiefen des Weltmeeres. Zugrunde gelegt wurden den Berechnungen die Karten von *Groll*, aber auch alle später bekannt gewordenen Lotungsergebnisse berücksichtigt. In mühsamer Arbeit wurden zunächst die Flächen der einzelnen Tiefenstufen für alle Teile der Ozeane bestimmt, indem für jedes Fünfgradfeld der für diesen Zweck auf Millimeterpapier gedruckten Grollschen Tiefenkarten die Fläche der darin vorhandenen Tiefenstufen durch Auszählung der Quadratmillimeter festgestellt wurde. Durch Abtragen der Flächen auf der Abszisse und der Tiefen auf der Ordinate eines rechtwinkligen Koordinatensystems ließ sich nun die sog. bathygraphische Kurve konstruieren und durch Ausmessung der von der Kurve begrenzten Fläche das Volumen der Meere finden, aus dem sich durch Division durch die Fläche der Ozeane bzw. seiner Teile die mittlere Tiefe ergab. Das Ergebnis für die mittlere Meerestiefe der Erde ist:

$$3800 \text{ m} \pm 100 \text{ m.}$$

Den Vergleich mit den bisherigen Werten ermöglicht folgende Tabelle:

*Ergebnisse der bisherigen Berechnungen der mittleren Meerestiefe.*

|                         |       |        |
|-------------------------|-------|--------|
| <i>Krümmel</i> . . .    | 1878: | 3438 m |
| <i>de Lapparent</i> . . | 1883: | 4260 „ |
| <i>Krümmel</i> . . .    | 1885: | 3320 „ |
| <i>Murray</i> . . .     | 1888: | 3797 „ |
| <i>Supan</i> . . .      | 1889: | 3650 „ |
| <i>Penck</i> . . .      | 1889: | 3650 „ |
| <i>v. Tillo</i> . . .   | 1889: | 3800 „ |
| <i>Heiderich</i> . . .  | 1890: | 3438 „ |
| <i>Karstens</i> . . .   | 1894: | 3496 „ |
| <i>Krümmel</i> . . .    | 1906: | 3681 „ |
| <i>Kossinna</i> . . .   | 1919: | 3795 „ |

Die mittleren Tiefen der Einzozeane und ihrer wichtigsten Teile sind:

|                           | Mittlere Tiefe in m            |                                 |  |
|---------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--|
|                           | nach<br><i>Krümmel</i><br>1907 | nach<br><i>Kossinna</i><br>1919 | <i>Kossinna</i><br>minus<br><i>Krümmel</i> |
| Atlantischer Ozean.....   | 3858                           | 3926                            | 68   |
| Indischer Ozean .....     | 3929                           | 3963                            | 34   |
| Stiller Ozean .....       | 4097                           | 4282                            | 185  |
| Ozeane (ohne Nebenmeere)  | 3997                           | 4117                            | 120  |
| Arktisches Mittelmeer...  | 1170                           | 1205                            | 35   |
| Amerikanisch. Mittelmeer  | 2090                           | 2216                            | 126  |
| Europäisches Mittelmeer   | 1431                           | 1429                            | — 2  |
| Asiatisches Mittelmeer... | 1089                           | 1212                            | 123  |
| Weltmeer .....            | 3681                           | 3795                            | 114  |

Die Unterschiede gegenüber der Berechnung von *O. Krümmel*, besonders bei den Mittelmeeren, rühren z. T. von der verschiedenen Begrenzung der Meeresteile durch beide Autoren her, z. T. aber daher, daß große Teile der Ozeane besonders auf der Südhalbkugel tiefer sind als 1907 noch angenommen werden konnte. Beim Stillen Ozean spielt dieser Faktor eine besonders wichtige Rolle. — Die neuen Messungen gestatteten

eine Neuzeichnung der hypsographischen Kurve der Erdrinde (vgl. diese Zeitschrift 1921, S. 242). Die folgende Zusammenstellung läßt die Veränderung gegenüber den älteren Werten von *H. Wagner* erkennen:

|  | Mittlere Höhe in m |                 |
|--|--------------------|-----------------|
|  | <i>H. Wagner</i>   | <i>Kossinna</i> |
| Kulminationsgebiet, Gipfelung<br>(= Flächen über 1000 m Höhe)  | + 2 150            | + 2 040         |
| Kontinentaltafel (von + 1000 m<br>bis — 200 m).....  | + 250              | + 230           |
| Kontinentalabhang (von — 200 m<br>bis zum mittl. Krustenniveau)  | — 1 200            | — 1 270         |
| Tiefseeboden (vom mittleren<br>Krustenniveau bis — 5500 m<br>( <i>H. Wagner</i> ) bzw. — 5750 m<br>( <i>Kossinna</i> ) ..... | — 4 300            | — 4 420         |
| Depressionsgebiet oder Tiefsee-<br>gesenke unterhalb der unteren<br>Grenze des Tiefseebodens ...                             | — 6 000            | — 6 100         |
| Mittleres Krustenniveau .....  | — 2 400            | — 2 440         |
| Mittelniveau des Festlandes....  | + 820              | + 840           |
| Mittelniveau der physischen<br>Erdoberfläche.....  | + 240              | + 245           |
| Mittelniveau des Meeres.....   | — 3 700            | — 3 800         |

Die Abweichungen beider Zahlenreihen voneinander sind nur gering.

Die große mittlere Tiefe des Weltmeeres zeigt schon, daß weite Flächen des Meeresbodens sehr tief gelegen sein müssen, tatsächlich liegt auch über die Hälfte des Meeresbodens unter 4000 m, ein Viertel, also mehr als Asien und Amerika zusammen, unter 5000 m. Die Fläche der Tiefen von mehr als 6000 m ist nahezu so groß wie halb Europa, und unter 7000 m liegt fast  $\frac{1}{2}$  Mill. qkm, also etwa die Fläche des Deutschen Reiches.

Die Neubestimmung des Volumens des Meeres ermöglichte auch eine Neuberechnung der im Meere vorhandenen Gesamtsalzmenge. Auf einem eben gedachten Meeresboden von 361 Mill. qkm Fläche ausgebreitet, würde das Salz eine Schicht von 62 m Mächtigkeit bilden, über der ganzen Erdoberfläche eine solche von 44 m.

Die Gesamtwassermenge nimmt unter Einrechnung des Wassers auf dem Lande und in der Atmosphäre etwa  $\frac{1}{800}$  des Erdvolumens ein, und eine Kugel von gleichem Rauminhalt würde einen Durchmesser von etwa  $\frac{1}{10}$  des Erddurchmessers besitzen.

*Bruno Schulz.*

**Die dänische „Dana“-Expedition.** Unter Leitung des durch seine Aaluntersuchungen rühmlichst bekannten Dr. *Johs. Schmidt* hat am 30. August eine neue dänische Tiefsee-Expedition ihre Ausreise angetreten. Die Dänen setzen damit ihre schon vor dem Kriege auf die Erforschung der Meere gerichteten Bemühungen in aner kennenswerter Weise fort. Es sei nur an die „Thor“-Expedition ins europäische Mittelmeer erinnert, die unsere Kenntnis dieses Meeres in grundlegender Weise förderte. — Als Expeditionsschiff dient die „Dana“, ein früherer englischer Minensucher, vom Typ der großen Fischdampfer. Es ist 43,3 m lang, 7,4 m breit und hat mit voller Ausrüstung einen Tiefgang von 4,7 m. Die Maschine leistet 660 HP, die maximale Fahrtgeschwindigkeit beträgt 9 Seemeilen. —

Außer dem Expeditionsleiter nehmen als Wissenschaftler *P. Jespersen, A. V. Taning, J. Olsen, K. Stephensen, Dr. N. C. Andersen* an der Fahrt teil. Die Gesamtbesatzung mit Einschluß der wissenschaftlichen Teilnehmer beträgt 26 Mann.

Die Hauptaufgabe der Expedition ist, der Biologie des Aales näher nachzuspüren, insbesondere die Eier und Larven des Flußaales zu finden und durch Zuchtversuche die verschiedenen Lebensstadien des Aales einwandfrei festzustellen. Da die Ansicht begründet ist, daß der Aal im Sargassomeer laicht, ist dieses zum Mittelpunkt des Untersuchungsgebietes gewählt worden. Die Fahrt geht nach einem Abstecher ins Mittelmeer von der Straße von Gibraltar zunächst nach WSW bis etwa 28° W. Lg., dann nach Kap Verde, nun quer über den Atlantischen Ozean an seiner engsten Stelle nach Kap San Roque an der Küste Brasiliens, an der südamerikanischen Küste entlang bis zur Mündung des Amazonasstromes, dann nach Norden ins Sargassomeer bis 25° N. Br., 50° W. Lg., von hier nach SW bis zum Golf von Maracaibo, sodann durch das amerikanische Mittelmeer und weiterhin bis in die Gegend von Kap Hatteras. Hieran schließen sich mehrere Schnitte durch den Golfstrom, von Kap Hatteras nach dem bereits genannten Punkt in Sargassomeer, von dort nach Neufundland, hieran anschließend nach den Azoren und dann durch den Kanal zurück. Die Gesamtdauer der Forschungen ist auf 10 Monate veranschlagt. — Außer den sicher sehr bedeutenden biologischen Forschungsergebnissen, wofür der Name des Fahrtleiters bürgt, dürfen wir wohl auch wichtige Erweiterungen unserer Kenntnis in hydrographischer Hinsicht erwarten. Es sollen nämlich parallel mit den biologischen Arbeiten Bestimmungen des Salzgehalts, der Temperatur und auch des Sauerstoffgehaltes gehen. Vielleicht kommen wir durch diese Expedition der Lösung des noch immer ungelösten Problems des Zusammenhanges zwischen biologischen und hydrographischen Faktoren etwas näher. (*Nature* Nr. 2170, Vol. 108, Oktober 6, 1921, S. 185 ff.; auch *Der Fischerbote* XIII, 1921, S. 763 ff.)

Bruno Schulz.

**Present status of the constants and verification of the laws of thermal radiation of a uniformly heated inclosure.** (W. W. Coblentz, Scientific Papers of the Bureau of Standards, No. 406, Washington, Government printing office 1921.) Der von dem amerikanischen Physiker W. W. Coblentz gegebene Bericht über den gegenwärtigen Stand der Untersuchungen zur Bestätigung der Strahlungsgesetze des schwarzen Körpers ist derart ausführlich und umfangreich, daß es hier nicht möglich ist, auf Einzelheiten näher einzugehen.

In der Einleitung (I) wird zunächst auf die Schwierigkeiten hingewiesen, die die Messungen der Strahlungskonstanten so in die Länge gezogen haben. Über die Untersuchungen der Reichsanstalt schreibt Coblentz folgendes:

„Die Bestimmungsmethoden der Strahlungskonstanten, die von der deutschen Reichsanstalt während der letzten zwei Jahrzehnte angewandt wurden, erstreckten sich auf Messungen bis ungefähr 1600° C oder sogar darüber hinaus und litten daher naturgemäß unter der mangelnden Kenntnis der Wärmeskala und der Brechungskoeffizienten der benutzten Prismen. In späteren Arbeiten wurde die Bestimmung der Wärmeskala richtigerweise mit den Messungen der Strahlungskonstanten kombiniert, anstatt daß wie früher die Messungen in einem getrennten Laboratorium vorgenommen wurden.

Die darüber veröffentlichten Arbeiten geben nicht an, ob versucht wurde, die verschiedenen Methoden zur Feststellung der Brechungsexponenten des Flußspats in Einklang zu bringen. Die neuesten Versuche wurden mit Quarzprismen unternommen, und die Bestimmung der Brechungsexponenten des Quarzes wurde versucht, doch ist über die Resultate bisher nichts veröffentlicht worden.“

Nun, auf dem letzten deutschen Physikertag in Jena hat Rubens ja über die Untersuchungen Bericht erstattet, und dieser wird wohl auch bald in den Fachzeitschriften erscheinen, wenn es nicht inzwischen schon geschehen ist. Von den Schwierigkeiten, unter denen die Untersuchungen des amerikanischen Eichamtes gelitten haben, war die größte die ungenaue Kenntnis der Brechungsexponenten von Flußspat, besonders fehlten die genauen Brechungsexponenten für die gelbe Natriumlinie und Heliumlinie zur einwandfreien Bestimmung der Dispersionen im äußersten Rot. Die Ergebnisse stimmen mit den 1913 von Paschen in den *Ann. der Physik* veröffentlichten gut überein.

Zweck der Abhandlung ist es, Untersuchungen über die verschiedenen Instrumente und Methoden anzustellen, die von einer Reihe von Forschern zur Bestimmung der Strahlungskonstanten benutzt wurden, um aus ihnen einigermaßen sichere Schlüsse auf die Genauigkeit der erzielten Resultate zu gewinnen. Die Strahlungskonstanten vieler Versuche, deren Werte große Abweichungen zeigten, konnten in gute Übereinstimmung gebracht werden, nachdem die atmosphärische Absorption und die Reflexion der Strahlung am Empfänger berücksichtigt wurde.

Nach diesen einleitenden Bemerkungen folgt als erster Hauptteil (II) der Abhandlung eine ausführliche Erläuterung der Begriffe, Instrumente und Methoden, die bei der schwarzen Strahlung in Anwendung kommen. „Die heutigen Begriffe der Strahlung eines schwarzen Körpers sind das Ergebnis einer langsamen Entwicklung von recht einfachen Versuchen. So stellte Draper fest, daß das Innere eines Gewehrlaufs bei einer gewissen Temperatur leuchtend wurde, Christiansen beobachtete, daß Kratzer und kegelförmige Vertiefungen auf einer glühenden Metalloberfläche heller leuchteten als die glatte Oberfläche, und John stellte fest, daß die Ausstrahlung, die man bei den selteneren Oxyden beobachtet, aufhört, wenn man diese in einem gleichmäßig erwärmten Porzellanrohr erhitzt.“

Sodann erfolgt eine Beschreibung des von Wien und Lummer erfundenen schwarzen Körpers und seiner Verbesserungen. Hieran schließen sich Erörterungen über Verschlüsse und Blenden mit Wasserkühlung und ihre Einwirkung auf die Bestimmung der Konstanten. Darauf wird das Stefan-Boltzmannsche und das Plancksche Strahlungsgesetz aufgeführt, und zwar in der Form:

$$R = \sigma \cdot (T_1^4 - T_0^4);$$

$$\text{bzw. } E_\lambda = C_1 \cdot \lambda^{-5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)^{-1};$$

Im nächsten Hauptteil (III) erfolgt eine eingehende umfangreiche Erläuterung der Bestimmung der Konstanten  $\sigma$ . Unter den bolometrischen Methoden werden die Untersuchungen folgender Physiker besprochen: Kurlbaum, Valentiner, Gerlach, Coblentz, Kahanowicz, Foote, Puccianti, unter den thermometrischen mit schwarzen Empfängern die Untersuchungen von Féry, Féry und Drecq, Bauer und Moulin, Puccianti, Keene, unter den indirekten und Ersatzmethoden die Unter-



suchungen von *Shakespear, Todd, Westphal*. Den Schluß dieses Teils bildet eine Zusammenstellung der für die Konstante von den einzelnen Beobachtern ermittelten Werte, aus denen für die Konstante  $\sigma$  der Mittelwert

5,72 bis  $5,73 \times 10^{-5}$  erg. cm<sup>-2</sup> · sec<sup>-1</sup> · grad<sup>-4</sup> erhalten wird.

Auf theoretischem Wege haben *Lewis* und *Adams* den Wert  $\sigma = 5,70$  gefunden (Phys. Rev. 3, S. 92, 1914).

Im Hauptabschnitt (IV) erfolgt die Erörterung der verschiedenen Bestimmungsmethoden der Konstanten  $C$ . Die Plancksche Gleichung gilt als der zweifelsfrei beste Ausdruck für die Energieverteilung im Spektrum des schwarzen Körpers. Schon zwei Jahrzehnte hindurch hat sich die auf Grund theoretischer Betrachtungen abgeleitete Formel *Plancks* als einwandfrei erwiesen. Die veränderte Form, die *Nernst* und *Wulf* der Planckschen Gleichung zu geben versuchten, indem sie der Konstanten  $C_1$  den Faktor  $(1 + \alpha)$  mit der neuen Veränderlichen  $\alpha$  hinzufügten, hat sich als überflüssig und unrichtig herausgestellt. Hierüber hat ebenfalls *Rubens* auf dem letzten Physikertag in Jena übereinstimmend berichtet. Besprochen werden sodann die Untersuchungen von *Paschen, Lummer* und *Pringsheim, Warburg* und seinen Assistenten, *Coblentz*. Als Mittelwert aus diesen Untersuchungen wird  $C = 1,432$  cm/grad erhalten.

Unter „V. Bestätigung der Strahlungsgesetze“ wird ausgeführt, daß man nach den bisherigen Untersuchungen als sicher bestätigt ansehen muß: Das Gesetz von *Stefan-Boltzmann* und das Gesetz von *Planck* im Bereiche  $0,5 \mu$  bis  $50 \mu$ . Zum Schluß wird der wahrscheinlichste Mittelwert der universellen Konstanten  $h$  zu  $6,5543 \pm 0,0025$  angegeben. Dieser Wert ergibt sich aus sieben unabhängigen Bestimmungsmethoden und zwar:

1. Aus dem *Stefan-Boltzmannschen* Gesetz.
2. Aus der *Planckschen* Gleichung.
3. Aus der Theorie von *Bohr* über die Atomstruktur.
4. Aus den photo-elektrischen Gleichungen *Einstains*.
5. Aus der auf X-Strahlen angewandten Quantenbeziehung.
6. Aus der Theorie von *Lewis* und *Adams*.
7. Aus der auf Ionisations- und Resonanzpotentiale angewandten Quantenbeziehung.

(Vgl. hierüber die Arbeit von *Birge*, Phys. Rev. 14, S. 361, 1919.)

Zuletzt werden noch einmal die Konstanten aufgeführt, deren Werte als gesichert anzusehen sind.

$$\begin{aligned} A &= \lambda \cdot m \cdot T = 0,2885 && (\text{Wien}) \\ \sigma &= 5,72 \times 10^{-5} \text{ erg. cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ grad}^{-4} && (\text{Stefan-Boltzmann}) \\ C &= 1,4320 \text{ cm grad} && (\text{Planck}) \\ h &= 6,554 \times 10^{-27} \text{ erg. sec} && (\text{Planck}) \end{aligned}$$

In dem beigefügten Literaturverzeichnis werden 108 verschiedene Arbeiten aufgeführt. Darunter fehlt leider eine sehr wichtige Abhandlung von *Coblentz*, betitelt: „Infra-red transmission and refraction data on standard lens and prism material“; Scientific Papers of the Bureau of Standards, Nr. 401, Washington, Government printing office, 1920.

In dieser Abhandlung befinden sich zahlreiche Tafeln über die Brechungsexponenten von Schwefelkohlenstoff, Quarz, Flußspat, Steinsalz, Sylvin. Im Literaturverzeichnis werden 46 Arbeiten aufgeführt, die über Radiometer, Emissions- und Absorptionsban-

den, Reflexion an Metallen, Elimination von zerstreuter Strahlung, Absorption und Brechung von verschiedenem Linsen- und Prismenmaterial handeln.

Für jeden, der sich mit Wärmestrahlung näher befaßt oder befassen will, sind die zusammenfassenden Arbeiten von *Coblentz* überaus wertvoll. Sie sind überdies ein glänzendes Denkmal für deutsche Wissenschaft und deutschen Fleiß im fremden Lande.

Sonnefeld.

**The spectral distribution of energy required to evoke the gray sensation.** (*Irwin G. Priest*, Scientific Papers of the Bureau of Standards Nr. 417, Washington, Government printing office, 1921.) Die Abhandlung gibt die Entwicklung einer experimentellen Methode, auf Grund der man zu einem objektiven physikalischen Maß für „Weißes Licht“ gelangt. Als Maß soll diejenige Energieverteilung eines (idealen) Strahlers gelten, der das Plancksche Strahlungsgesetz erfüllt und dabei die farblosen Empfindungen „weiß“ oder „grau“ im menschlichen Auge hervorruft. Hierbei ist es nötig, gewisse Versuchsbedingungen genau einzuhalten, und zwar nicht nur in bezug auf die zu verwendenden Meßinstrumente, sondern auch bezüglich des Versuchsraumes und der Beobachter (Adaptation, Farbenempfindung, Ermüdung).

Als Versuchsmethode war eine indirekte zu wählen, weil es künstliche Strahler, die um  $5200^\circ$  abs die Energieverteilung eines idealen Strahlers besitzen, nicht gibt. Durch einen Kunstgriff gelingt es aber wenigstens im sichtbaren Gebiet des Spektrums, die Plancksche Energieverteilung im Temperaturintervall von  $4000^\circ$  bis  $7000^\circ$  abs mit hinreichender Annäherung zu erreichen. Der wesentlichste Teil des hierzu benutzten Apparates besteht aus einem Quarzplattensatz und einem Polarimeter, so wie diese im Aronsschen Chromoskop Verwendung finden, und wirkt wie ein Blaufilter mit regulierbarer spektraler Durchlässigkeit. Die Regulierung erfolgt durch Drehung eines Nikols (vgl. hierüber *L. Arons*, Ann. d. Phys. 33, S. 799, 1910, und 39, S. 545, 1912). Als Strahler werden zwei Wolframlampen von je 300 Watt benutzt, deren Energieverteilung mit Hilfe einer Vergleichslampe von bekannter spektraler Energieverteilung bei  $2830^\circ$  abs auf bekannte Weise ermittelt wird. (Für die Konstante  $C$  wird hier der Wert  $1,435$  cm grad genommen.)

Zwei Versuchsmethoden wurden angewandt. Die erste besteht darin, daß ein farbenächtiger Beobachter den Nikol selbst so einstellt, daß er die Empfindung weiß erhält. Bei der zweiten Methode, die als die bessere empfohlen wird, hat der Beobachter nur Urteile abzugeben über die Farbe, die er im Gesichtsfeld eines Okulars empfindet. Der Versuchsleiter stellt den Apparat so ein, daß ein Reiz zustande kommt, der einer bestimmten Temperatur des schwarzen Körpers entspricht und registriert die Aussagen des Beobachters, die in den drei Urteilen „blau“, „gelb“, „weiß“ abwechseln.

Im ganzen wurden Versuche mit 4 Beobachtern ausgeführt, die nach den bisherigen Prüfungsmethoden als farbenormal anzusehen waren.

Als Resultat der Versuche ergab sich, daß „Weißes Licht“ von einem idealen Strahler bei einer absoluten Temperatur von etwa  $5200^\circ$  emittiert wird. Diesem theoretischen Maß entspricht mit sehr hoher Annäherung ein natürliches Maß, nämlich das Licht der Sonne in Washington zur Zeit des mittleren Mittags.

Es wird ausdrücklich betont, daß die endgültige

Einführung eines solchen Maßes natürlich nicht auf Grund dieser geringen Zahl von Versuchen mit ziemlich starken Abweichungen möglich ist, sondern daß umfangreiche Beobachtungen bei möglichst gleichen Versuchsbedingungen namentlich hinsichtlich der Beobachter weiterhin unternommen werden müssen. Diesbezüglich enthält der Anhang der Abhandlung Hinweise, wie in Zukunft zu verfahren wäre und welche Schwierigkeiten zu überwinden sind, um zu einem sicheren Normalmaß für weißes und graues Licht zu kommen.

Daß diesem Problem eine hohe wissenschaftliche und praktische Bedeutung zukommt, braucht hier kaum erwähnt zu werden. Es scheint mir, als ob der hier beschrittene Weg zur Erreichung des Ziels ein gangbarer ist. Jedenfalls werden sich auch bei uns weite Kreise für die Aufgabe interessieren und die weitere Entwicklung mit Spannung verfolgen. Die Abhandlungen der „Scientific Papers of the Bureau of Standards“ sind einzeln zum Preise von 10 Cents erhältlich.  
*Sonnemfeld.*

**Über die Bildgüte von Astroobjektiven.** Zu meinem Vergnügen berechnete ich neulich an der Hand der Farbenkurven im Astrokatalog des Zeißwerks in Jena die chromatische Bildgüte der mit *E*, *A* und *B* bezeichneten Astroobjektive. Als Sachkenner überraschte mich die Güte der Leistung und deshalb veröffentlichte ich sie anlässlich des 75jährigen Bestehens als Jubiläumsgruß an die Firma *Zeiss*.

Kein Objektiv ist im mathematischen Sinn absolut vollkommen. Vielmehr fallen auch bei Achromaten naturnotwendig mit dem scharfen, weil eingestellten, Beugungsbild (Kreisscheibe mit Ringen) eines Lichtpunktes (Fixsternes) für die hellste grüngelbe Farbe die unscharfen (größeren und schwächeren, weil infolge der Farbenabweichung nicht zugleich einstellbaren) Beugungsbilder der übrigen Lichtschwächeren Spektralfarben zusammen. Die maximale Helligkeit im Zentrum der Beugungsfigur (Nutzeffekt) beträgt weniger als 100 % (Idealfall beim Silberspiegel). 95 % kann man als praktisch vollkommen ansehen; bei 85 % werden die meisten auch mit starker Vergrößerung kaum noch Farben sehen (mein Auge ist außergewöhnlich farbenempfindlich; ich kann die von den Beobachtern beliebte Farbenlinie rot—gelb—weiß mir nicht zu eigen machen; mit einem Silberspiegel sehe ich alle möglichen Sternfarben, z. B. olivengrün, lila u. dgl. objektiv; ein alter mittelmäßiger 4-Zöller zeigte mir einmal subjektiv die blauweiße Wega grasgrün!). Was es heißt, bei einem Astroobjektiv von 20 cm Öffnung und 3 bis 4 m Brennweite chromatisch 70 % oder gar 85 % zu erzielen, das kann nur ein Beugungstheoretiker ermessen. Es bedurfte jahrzehntelang der vereinten Bemühungen von Glastechnik, messender, rechnender und theoretischer Optik, um solche Werte gewährleisten zu können (Achromate aus alter Zeit zeigen z. B. oft breite tiefblaue Säume um Jupiter und vertragen kaum die doppelte Millimeterzahl der Öffnung als Vergrößerungszahl); zur besseren Würdigung füge ich eine geschichtlich geordnete Übersicht bei. Vor allem wird klar: Je größer die Öffnung oder je kleiner die Brennweite, je schwieriger die Sache.

Den Gang der Rechnung betreffend verweise ich auf

meine Studien in der Zeitschrift für Instrumentenkunde: „Über den Einfluß der chromatischen Korrektur“; „Über die Farbenabweichung“; „Instrumentalaberrationen“; „Beugungstheorie und geometrische Optik“; „Bildgüte und Glassorten“ (1897, S. 50; 77; 301; 1899, S. 364; 1903, S. 210). Die ermüdenden Zahlenreihen unterdrücke ich; der Fachmann freilich ersieht aus ihnen bemerkenswerte Verhältnisse. Auch beschränkte ich mich auf die farbigen Bildpunkte innerhalb des 1. Minimums; das wirkliche Ergebnis mag schätzungsweise bis zu 1 % günstiger sein.

Beugungstheoretisch kommt es hauptsächlich auf die Krümmung der Farbenkurve im Scheitel und auf die Lage der Scheitel der Farbenkurve und der Empfindungskurve an. Letzterer verschiebt sich je nach der absoluten Helligkeit des Bildes. Da ersterer für die 3 Objektivarten verschieden liegt ( $E = 560 \mu$ ;  $A = 546 \mu$ ;  $B = 530 \mu$ ), so legte ich, um allen gleichmäßig gerecht zu werden, sämtliche Scheitel in  $550 \mu$ . Die Rechnung führte ich nur für ein Objektiv von 20 cm Durchmesser aus, weil etwa für dieses nach früheren Erfahrungen die größten Unterschiede zu erwarten waren. Welches Ergebnis bei anderen Ausmaßen zu erwarten ist, läßt sich aus meiner Studie „Bildgüte“ schätzen. Zum Vergleich dienen die anderen Fälle folgender Übersicht:

*Einfluß der Glastechnik und der Ausmaße auf die chromatische Bildgüte.*

| Glassorten vom Lade-Refraktor |         |       |
|-------------------------------|---------|-------|
|                               | 12,5 cm | 25 cm |
| 1 : 20 . . . .                | 63 %    | 43 %  |
| 1 : 10 . . . .                | 43 %    | 29 %  |

| Glassorten vom Lick-Refraktor |         |       |
|-------------------------------|---------|-------|
|                               | 12,5 cm | 25 cm |
| 1 : 20 . . . .                | 84 %    | 73 %  |
| 1 : 10 . . . .                | 73 %    | 55 %  |

| Apochromat (Glassorte?)            |         |       |
|------------------------------------|---------|-------|
| 8 cm : 146 cm . . . .              | 85 %    |       |
| (der kleinen Öffnung zu verdanken) |         |       |
| Ältere Apochromate (Schott-Gläser) |         |       |
|                                    | 12,5 cm | 25 cm |
| 1 : 20 . . . .                     | 95 %    | 85 %  |
| 1 : 10 . . . .                     | 85 %    | 64 %  |

| Neuere Astroobjektive von Zeiß  |      |  |
|---------------------------------|------|--|
| <i>E</i> 20 cm : 300 cm . . . . | 69 % |  |
| <i>A</i> 20 cm : 360 cm . . . . | 83 % |  |
| <i>B</i> 20 cm : 300 cm . . . . | 82 % |  |

Mit den *E*-Objektiven lassen sich höchstens die sehr günstigen Glassorten vom Lick-Refraktor vergleichen (dieser selbst freilich hat bei seinen Ausmaßen chromatisch nur etwa 44 %).

Die *A*-Objektive behaupten die bei 2teiligen Apochromaten aus Schott-Gläsern zurzeit überhaupt mögliche Höchstgrenze.

Die 3teiligen *B*-Objektive sind noch besser korrigiert, weil die Herabsetzung des Verhältnisses Öffnung : Brennweite von 1 : 18 auf 1 : 15 ohne Schädigung der vorzüglichen Bildgüte gelang.

Zur Untersuchung dieser Objektive auf sphärische Aberration sowie zu Beobachtungen mit ihnen fehlen mir leider Angaben, Zeit und Gelegenheit. Auch bürgt ja der Name für die Vorzüglichkeit. Ich bitte mit obiger Probe vorlieb zu nehmen.  
*Strehl.*



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von

**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 2. (Seite 25—48)

13. Januar 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Über die gegenwärtige Krise der Mechanik. Von *R. v. Mises, Berlin*. S. 25.

Über das „tierische“ Leuchten. Von *Paul Buchner, München*. (Schluß.) S. 30.

Über die mechanischen Probleme der Herztätigkeit. Von *E. Lüscher, Bern*. S. 34.

### Besprechungen:

Peter, Karl, Die Zweckmäßigkeit in der Entwicklungsgeschichte. Von *L. Glaesner, Hildesheim*. S. 39.

Walther, Johannes. Allgemeine Paläontologie. Von *O. Abel, Wien*. S. 41.

East, Edward M. und Donald F. Jones, Inbreeding and Outbreeding. Von *G. v. Ubisch, Heidelberg*. S. 42.

Schnegg, Hans, Das mikroskopische Praktikum des Brauers. Von *O. Rahn, Kiel*. S. 42.

Schröder, Chr., Handbuch der Entomologie. 5. Liefg., Bd. 3. Von *Arnold Japha, Halle*. S. 43.  
Astronomisches Handbuch, herausgegeben vom Bund der Sternfreunde. Von *J. Hopmann, Bonn*. S. 43.

Theimer, Victor, Praktische Astronomie. Von *H. Kienle, München*. S. 44.

Auerbach, Felix, Moderne Magnetik. Von *Steinhaus, Berlin-Charlottenburg*. S. 45.

Tropfke, Johannes, Geschichte der Elementarmathematik. Von *Fr. Drenckhahn, Rostock*. S. 45.

Neue amtliche Kartenwerke. S. 45.

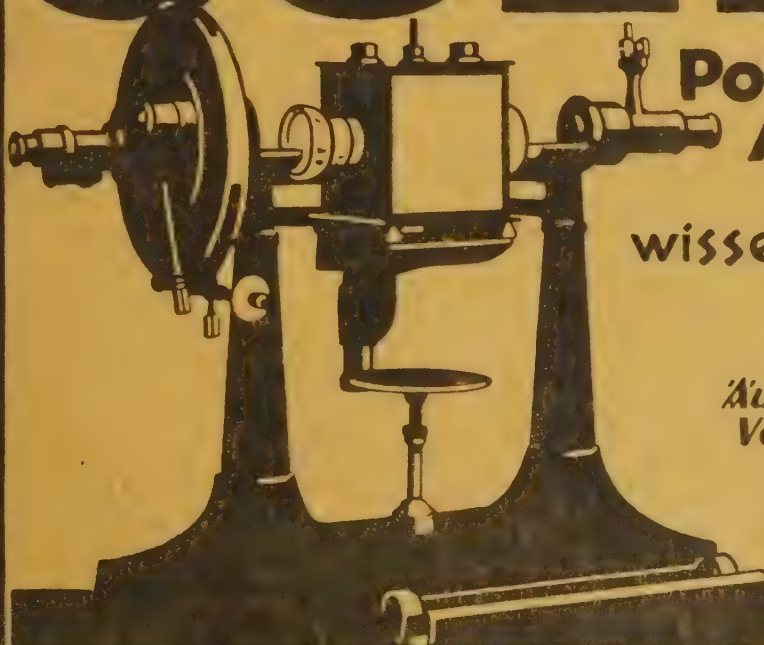
### Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Wirkungen des Mödinger Trinkwassers auf Salamanderlarven. Von *K. Hofmann*. S. 46.

Gesellschaft für Erdkunde: S. 47.

Die Viehzucht auf der südlichen Halbkugel.

# GOERZ



**Polarisations-  
Apparate**  
für  
wissenschaftliche  
Zwecke

★  
**Äusserste Stabilität  
Vorzügliche Optik**

★  
Katalog kostenfrei

**Optische Anstalt C. P. GOERZ Aktiengesellschaft**  
BERLIN-FRIEDENAU

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 40.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 4.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 4.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 80 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24.  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20120 Julius Springer,  
für Anzeigen- u. Beilagenbeträge: Berlin Nr. 118933 Julius Springer,  
Konten: für alle übrigen Zahlungen: Berlin Nr. 11100 Julius Springer.

### Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

J. D. Möller, Wedel in Holstein.

Gegründet 1864.

(250)

### Die Zweckmäßigkeit in der Entwicklungs-

geschichte. Eine finale Erklärung embryonaler und verwandter Gebilde und Vorgänge.

Von Karl Peter, Greifswald. Mit 55 Text-

figuren. 1920. Preis M. 30.—; geb. M. 36.—

(Verlag von Julius Springer in Berlin W 9)

### Mineraliensammlung zu verkaufen.

Gefl. Interessenten wollen sich melden unter Nw. 272  
an die Expedition dieser Zeitschrift. (272)

### Mikroskop

zu kaufen gesucht. (273)

Angebote unter F. C. 5126 an Rudolf Mosse, Cassel.

### Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

## Die Grundlehren der mathematischen Wissenschaften in Einzeldarstellungen

mit besonderer Berücksichtigung der Anwendungsgebiete gemeinsam mit W. Blaschke, Hamburg, M. Born, Göttingen, C. Runge, Göttingen, herausgegeben von R. Courant, Göttingen.

Soeben erschienen:

#### Band I

### Vorlesungen über Differential-Geometrie

und geometrische Grundlagen von Einsteins Relativitätstheorie. I. Elementare Differentialgeometrie. Von Wilhelm Blaschke, ord. Professor der Mathematik an der Universität Hamburg. Mit 38 Textfiguren.

Preis M. 69.—; in Ganzleinen geb. M. 81.—

In den nächsten Tagen erscheint:

#### Band II

### Theorie und Anwendung der unendlichen Reihen.

Von Dr. Konrad Knopp, ord. Professor der Mathematik an der Universität Königsberg. Mit 12 Textfiguren.

Preis M. 168.—; in Ganzleinen geb. M. 180.—

**Zu beziehen durch jede Buchhandlung**



## Über die gegenwärtige Krise der Mechanik.

Von R. v. Mises, Berlin<sup>1)</sup>.

Es sind erst wenige Jahrzehnte her, da galt die Mechanik der sichtbaren Körper, die Mechanik der wirklich beobachtbaren Bewegungen und Kräfte, als der vollendetste, jedenfalls als ein vollkommen sichergestellter Teil unseres physikalischen Weltbildes. So stark war das Vertrauen zu dem festgefügtten Aufbau der klassischen Mechanik, daß man einen beliebigen physikalischen Vorgang erst dann als völlig geklärt ansehen wollte, wenn er auf einen mechanischen zurückgeführt war. Die Philosophen, die bekanntlich gerne die Ergebnisse einer Wissenschaft, sobald sie sichergestellt erscheinen, zu übertreiben pflegen, taten auch hier ein übriges, und so setzte Wilhelm Wundt an die Spitze seiner Axiome der Physik den Ausspruch: Alle Ursachen in der Natur sind Bewegungsursachen. Gerade dieser enge Zusammenhang zwischen den Grundbegriffen der Mechanik und der Gestaltung unseres Ursachsbegriffes berührt sich mit dem, was uns hier beschäftigen wird.

1. Die Mechanik der Relativitätstheorie. Den ersten ernsthaften Anstoß erhielt die Mechanik, die man fälschlich die Newtonsche nennt — denn sie stützt sich auf drei unabhängige Grundpfeiler, die Newtonsche Mechanik freier Punkte, den Euler-Lagrangeschen Systembegriff und den Cauchyschen Begriff der inneren Spannung —, den ersten Anstoß erhielt die klassische Mechanik vor etwa zwei Jahrzehnten von der Elektrodynamik her, als man sich genötigt sah, Massen anzunehmen, deren Größe von der Geschwindigkeit abhing. Bekanntlich hat die weitere Verfolgung dieses Problemkreises nach einigen Umwegen zur speziellen und dann zur allgemeinen Relativitätstheorie geführt. Als sich vor rund zehn Jahren die Grundgedanken der speziellen Relativitätstheorie allmählich in weiteren Kreisen durchsetzten, begann man auch viel von der „Neuen Mechanik“ zu reden, die durch jene Theorie bedingt sei. Und wenn ich heute einen Vortrag über die gegenwärtige Krise der Mechanik angekündigt habe, bin ich vielleicht auch dem Mißverständnis ausgesetzt, als meinte ich damit die Relativitätsmechanik. Dem ist aber nicht so. Von dem Standpunkt, den ich hier zur Geltung bringen möchte und der den unmittelbaren Zusammenhang rein mechanischer Beobachtungen mit be-

stimmten grundsätzlichen Fragen betrifft, von diesem Standpunkt aus erscheint die Mechanik der Relativitätstheorie durchaus nicht als revolutionär; viel eher möchte ich sie als eine „überklassische Mechanik“ bezeichnen, denn als eine fortschrittliche Entwicklung der alten Mechanik. Wie das gemeint ist, soll gleich etwas ausführlicher erläutert werden, da dies auch die passendste Überleitung zum eigentlichen Gegenstand meines Vortrages bildet.

Überlegen wir uns einmal, welchen Eigenschaften die klassische Mechanik ihre außerordentlich starke Stellung innerhalb der Gesamtheit der physikalischen Wissenschaften verdankt, so müssen wir erkennen, daß die ursprünglichen Ansätze sich nach zwei entgegengesetzten Richtungen entwickelt haben und daß demnach auch zwei ganz verschiedene Seiten an ihnen gewertet werden. Der Physiker hat eine Mechanik ausgebildet, wie sie allenthalben als erstes Kapitel in jedem Lehrgang der theoretischen Physik auftritt, und die ich für den Augenblick etwa als die „gebundene“ Mechanik bezeichnen möchte. Sie erblickt das Entscheidende und Wertvolle in den Aufstellungen von Newton, Euler-Lagrange und Cauchy darin, daß durch sie zum erstenmal die Zusammenfassung eines großen Erscheinungsbereiches in eine enge Gruppe von Differentialgleichungen oder noch besser die Unterordnung unter ein einziges Variationsprinzip geleistet wird, ein Vorgang, der dann zum Muster für die Ausbildung der übrigen Teile der theoretischen Physik geführt hat. Aber jene alten Aufstellungen besitzen noch einen ganz andersartigen Vorteil und man wird den Verhältnissen durchaus nicht gerecht, wenn man meint, daß nur ein methodischer Unterschied bestünde zwischen der eben gekennzeichneten „gebundenen“ Mechanik und der andern, die ich jetzt die „freie“ nennen will. Für sie ist der hauptsächlichste Wert der klassischen Ansätze darin gelegen, daß sie einen sehr lockeren, losen Rahmen bilden, bei dessen Ausfüllung noch sehr viel Freiheit bleibt: Man kann für das, was Newton die vis impressa, die eingeprägte Kraft, nennt, für das, was in der Euler-Lagrangeschen Mechanik die Konstitution des mechanischen Systems ausmacht, endlich für die von Cauchy eingeführte Spannungsdyade in weitestem Umfang willkürliche Funktionen einführen, um sich der großen Mannigfaltigkeit der natürlichen Erscheinungen anzupassen, und vermag damit inhaltlich weit über die „gebundene“ Mechanik hinauszugreifen. Um nur ein konkretes Beispiel zu nennen: Wenn man in einem System starrer Körper die gewöhnliche Berührungsrei-

<sup>1)</sup> Vortrag, gehalten auf der Jahresversammlung der deutschen Mathematiker-Vereinigung in Jena am 20. September 1921.

bung mit den in der technischen Mechanik üblichen Ansätzen als wirksam ansieht, so bleibt man noch im Rahmen der Newtonschen Mechanik, aber weder die sog. Bewegungsgleichungen zweiter Art, noch das Hamiltonsche Prinzip liefern eine Lösung. In anderen Fällen, wenn man etwa die bleibenden Formänderungen eines riemenartigen Bandes oder dergleichen untersuchen will, spielen die schönen Variationsprinzipie der „gebundenen“ Mechanik die Rolle leer laufender Räder einer Maschine: sie drehen sich mit, wenn man sie nicht ausschaltet, aber sie fördern das Ziel der Untersuchung nicht. Ich will also zusammenfassen: Die Gesamtheit der wirklich beobachtbaren Bewegungs- und Kräfteerscheinungen wird *bei weitem nicht durch die Mechanik erfaßt*, die der Physiker als Einleitungskapitel der theoretischen Physik zu behandeln pflegt, aber der ursprüngliche, durch *Newton, Euler, Lagrange* und *Cauchy* geschaffene Rahmen ist ein so weiter und dehnbarer, daß man mit Recht bisher annahm, er würde ausreichen, um ein Schema für die Erklärung *aller* beobachtbaren mechanischen Vorgänge abzugeben. — Dieser *inhaltliche* Unterschied zwischen den beiden Richtungen der rationellen Mechanik ist natürlich nicht ganz unbekannt, aber er wird nicht immer genügend deutlich hervorgehoben.

Betrachten wir nun von diesem Standpunkt aus die „Neue Mechanik“ der Relativitätstheorie, so kann kein Zweifel bestehen, daß sie noch „gebundener“ ist, als die bisherige Mechanik der theoretischen Physik. Solange nur die spezielle Relativitätstheorie in Betracht kam, ließ sich noch, wie *Minkowski* gezeigt hat, die „neue“ Mechanik ganz auf die Form der alten bringen; man mußte nur die Definitionen und Axiome etwas verallgemeinern. Gewiß hat *Minkowski*, was ja von seinem Standpunkt aus nahe lag, den Hauptvorteil der relativistischen Mechanik darin gefunden, daß ihre Herleitung noch einheitlicher geschehen kann, indem auch die Kontinuitätsgleichung aus dem verallgemeinerten Energiegesetz folgt; aber es hat, denke ich, keine grundsätzlichen Schwierigkeiten, die *Minkowskische* Mechanik in der Richtung auszubauen, wie ich sie früher als die der „freien“ Mechanik gekennzeichnet habe. Ganz anders steht es, wenn wir von der allgemeinen Relativitätstheorie ausgehen. Diese ist von vornherein auf die Schwerfelder zugeschnitten, und wenn man anfänglich das sog. Äquivalenzprinzip auch beliebigen Kräften gegenüber aussprach, so ist es heute doch zumindest sehr zweifelhaft, ob *diese* neue Mechanik dieselbe Allgemeinheit von Kraftgesetzen zuläßt wie die alte. Es scheint, daß die Mechanik der Relativitätstheorie viel absoluter oder „absolutistischer“ ist als die gewöhnliche, in unserer Ausdrucksweise „gebundener“; sie ist weit weniger anpassungsfähig, und dies mag in gewissem theoretischen Sinn auch eine Stärke sein. Die ganze Frage ist natürlich noch nicht im geringsten

untersucht, hat man sich doch kaum eingehender damit beschäftigt, welchen Einschränkungen die zulässigen Kraftgesetze innerhalb der klassischen Mechanik unterworfen sind. Vielleicht liegt aber hier ein Teil der Gründe, die *Ernst Mach* in seiner hinterlassenen „Optik“ zu so entschiedener Ablehnung der Relativitätstheorie, vor allem vom Standpunkt der Erfahrung aus, veranlaßt haben. — Freilich darf man nie vergessen, daß die *Einsteinische* Theorie die Anpassung der Mechanik an das älteste und bedeutendste Erscheinungsgebiet, die Bewegung der Himmelskörper, erst vollendet hat, und alles, was ich hier gesagt habe, soll durchaus kein Urteil, noch weniger eine Aburteilung der Relativitätstheorie sein, sondern nur ihr Verhältnis zu der Frage kennzeichnen, mit der ich mich eigentlich beschäftigen will.

2. *Entwicklung des Hauptproblems.* Diese Frage, in deren negativer Beantwortung ich das Kritische in dem heutigen Zustande der Mechanik erblicke, lautet, auf die kürzeste Form gebracht, so: Können wir noch annehmen, daß alle Bewegungs- und Gleichgewichtserscheinungen, die wir an sichtbaren Körpern beobachten, *sich in dem Rahmen des Newtonschen und der daran anknüpfenden Ansätze erklären lassen*? Mit anderen Worten: Läßt sich jede Bewegung eines beliebig abgegrenzten Massenteils in ihrem zeitlichen Ablauf dadurch eindeutig bestimmen, daß man den Anfangszustand gibt und irgendwelche Kraft- oder Spannungsgesetze als wirksam ansieht? Vor wenigen Jahren noch hätte man kaum gezögert, die Frage mit einem glatten „Ja“ zu beantworten. Auch heute sind wir nicht so weit, sie entscheiden verneinen zu können, noch viel weniger können wir in allen Einzelheiten sehen, was zu den alten Begriffsbildungen neu hinzuzutreten hat. Allein ich will hier doch zu zeigen versuchen, daß der Tatsachenbestand, den wir heute besitzen, es als in hohem Maße *unwahrscheinlich* erkennen läßt, daß jenes Ziel der klassischen Mechanik je erreicht werden könnte, und daß ganz bestimmte andere, übrigens nicht mehr ungewohnte Überlegungen den starren Kausalaufbau der klassischen Theorie abzulösen oder zu ergänzen berufen sind.

Das umfassendste und geläufigste Erscheinungsgebiet, das man mit den Differentialgleichungen der Mechanik bisher nicht in Einklang zu bringen vermocht hat, stellt die *Bewegung der Flüssigkeiten* in zahllosen, der unmittelbaren Beobachtung zugänglichen Fällen dar. Wenn wir Wasser durch ein zylindrisches Rohr gleichförmig fließen lassen, so müssen wir dabei, je nach den Abmessungen, zehn-, hundert- oder tausendmal mehr Druck aufwenden, als dem Poiseuilleschen Gesetz entspricht, das eine unmittelbare Folgerung der Theorie zäher Flüssigkeiten ist. Man weiß schon seit *Poncelet* und *Saint-Venant*, daß diese Unstimmigkeit daher rührt, daß die Bewegung des Wassers gar keine gleichförmige ist, sondern sich zahllose kleine, unregelmäßige Pulsa-



tionen über eine verhältnismäßig ruhige Grundbewegung lagern. Die mechanischen Differentialgleichungen können aber ihrem ursprünglichen Sinn nach nur für die wirklichen Bewegungen aller Einzelteilchen gelten und besagen nichts über die *Scheinwerte* von Druck und Geschwindigkeit, die durch eine unbeabsichtigte Mittelwertbildung nach Ort und Zeit zustande kommen. Vom praktischen Standpunkt aus lag es nahe zu untersuchen, ob sich nicht unmittelbar Gesetze für die Grundbewegung auffinden lassen. Dies hat zuerst *Boussinesq* unternommen, indem er ein System von Differentialgleichungen gab, das sich von dem klassischen für zähe Flüssigkeiten dadurch unterschied, daß an Stelle des konstanten Reibungskoeffizienten ein passend veränderlicher „Turbulenzkoeffizient“ trat. Die Integrale dieser Gleichungen sollten Druck und Geschwindigkeit der Grundbewegung darstellen, doch sind sie der mathematischen Schwierigkeiten wegen kaum auch nur in einem entscheidenden Fall aufgefunden worden. Eine weit einfachere Theorie habe ich im Jahre 1908 entwickelt<sup>2)</sup> und ich glaube, daß sie durch alle bisherigen Erfahrungen nur bestätigt worden ist. Ihr Grundgedanke ist der: Die Geschwindigkeitsverteilung der Grundbewegung eines turbulenten Zustandes genügt dem Differentialgleichungssystem, das man aus dem Eulerschen Ansatz für ideale Flüssigkeiten erhält, wenn man daraus den Druck eliminiert (und das man das Helmholtzsche nennen kann, da es inhaltlich mit den Helmholtzschen Wirbelsätzen übereinstimmt). Daß dieses Gleichungssystem nicht eindeutig ist und daß für die Druckverteilung noch weitere Annahmen erforderlich sind, gibt nur die willkommene Gelegenheit zur Anpassung der Theorie an die Beobachtungen. Ich möchte von neueren Ergebnissen besonders die mit der Beobachtung so gut übereinstimmende Lehre vom Tragflächenauftrieb und die von der Wirbelbildung hinter einem in eine Strömung eingetauchten Körper als Bestätigungen meiner Auffassung in Anspruch nehmen.

Aber wie dem auch sei, ob die Boussinesqsche Theorie oder meine — eine dritte ist bisher nicht bekannt geworden — die Erscheinungen besser wiedergibt, mit der eigentlichen Mechanik im klassischen Sinne hat das nichts zu tun. Denn diese erhebt den Anspruch, gerade die vielfältig verwirrte Bewegung der *Einzelteilchen* erklären, also vor allem in ihrem zeitlichen Ablauf darstellen zu können; der Verlauf der verhältnismäßig ruhigen Grundbewegung müßte sich daneben von selbst, jedenfalls ohne weitere Annahmen, wie sie die vorgenannten Theorien brauchen, ergeben. Es ist bekannt, in welcher Weise sich hier, da man ja in erster Linie stationäre

oder quasi-stationäre Zustände untersuchen will, das ursprüngliche Anfangswertproblem der Integration in ein Randwertproblem verwandelt, dessen mathematische Behandlung äußerst schwierig ist, dessen Erledigung noch in weiter Ferne zu liegen scheint . . . Zwei Zugänge hat man zunächst zu bahnen versucht. Lord *Kelvin*, dann Lord *Rayleigh* und zuletzt *Sommerfeld* haben die Methode der kleinen Schwingungen herangezogen, das Ergebnis war, wie man weiß, ein negatives. Und *Prandtl* meinte, wenigstens in dem Randgebiet der turbulenten Bewegung in der Nähe der begrenzenden festen Körper, der sog. „Grenzschicht“, in der die Geschwindigkeit der Grundbewegung fast unvermittelt auf Null herabfällt, die Verhältnisse mit den klassischen Differentialgleichungen der zähen Flüssigkeit beherrschen zu können; aber auch hier zeigte sich, daß man quantitative Übereinstimmung nicht erhält, ohne zu Annahmen zu greifen, wie sie das Wesen der beiden angeführten, phänomenologischen Theorien ausmachen. Es steht heute so, und die noch nicht abgeschlossenen Arbeiten *Oseens* dürften daran kaum etwas ändern: Die kleinen, mit freiem Auge beobachtbaren, außerordentlich wechselvollen, unregelmäßig schwankenden, fast zitternden Bewegungen der Einzelteilchen einer im Ganzen ruhig strömenden Flüssigkeit *entziehen sich der Verfolgung und Darstellung im Sinne der klassischen Mechanik*. Sie weisen gebieterisch hin auf eine ganz andere, in den letzten Jahrzehnten auf vielen Gebieten der Physik immer mehr zur Geltung kommende Betrachtungsweise: auf die sog. physikalische oder, wie wir hier sagen wollen, die *mechanische Statistik*.

Ich muß, ehe ich zu einer genaueren Umgrenzung dieses Begriffes komme, kurz einen Punkt berühren, der mich selbst lange Zeit gehindert hat, die allgemeine Bedeutung der hier vorliegenden Verhältnisse zu erkennen. Es sieht so aus, als würde es sich bei der eben beschriebenen Erscheinung der Turbulenz um einen ganz vereinzelt dastehenden Fall innerhalb oder im Gegensatz zu der ganzen übrigen Mechanik handeln. Man denkt unwillkürlich an die vortreffliche Übereinstimmung der *Elastizitätstheorie* mit dem wirklichen Verhalten der meisten festen Körper. Und gewiß sind an den Leistungen dieser Theorie die Forderungen erwachsen, die man an die Lehre von den Flüssigkeiten stellt, ohne sie dort befriedigt zu finden. Aber, wenn man näher zusieht, erkennt man, daß die Dinge hier gar nicht so sehr anders liegen. Denn die wirklichen Körper verhalten sich doch nur in gewissen Grenzen elastisch, bis zu bestimmten, ihnen eigentümlichen Höchstspannungen — darin liegt eine, wenn auch unvollkommene Analogie zu jener vielgesuchten, noch wenig aufgeklärten kritischen Grenze, bei der die laminare Flüssigkeitsbewegung in die turbulente umschlägt. Das Wesentliche aber scheint mir dies zu sein: Ist die sog. Elastizitätsgrenze beim festen Körper überschritten, tritt der sog.

<sup>2)</sup> Vgl. meinen Vortrag auf der Naturforscherversammlung in Köln 1908, Jahresber. d. deutsch. Mathemat.-Ver. 17, 1908, S. 319—320, oder Zeitschr. f. d. ges. Turbinenwesen 1909; ferner Elemente der techn. Hydromechanik, I, Leipzig 1914, S. 29—33.

Fließzustand ein, den wir mit einem von *Saint-Venant* begründeten Gleichungsansatz noch einigermaßen zu beherrschen glauben, da zeigt sich doch dem Beobachter, daß innerhalb der zahllosen, endlich ausgedehnten und unter dem Mikroskop deutlich erkennbaren Kristalle oder Kristallite des Körpers Lagen- und Richtungsänderungen vor sich gehen, die *nicht anders als statistisch* zu erfassen sind. Die *Saint-Venantsche* Plastizitätstheorie spielt also hier eigentlich nur die Rolle der beiden früher genannten phänomenologischen Theorien für die *Grundbewegung* einer turbulenten Strömung. Und diese Kristallite sind nicht etwa hypothetische Atome oder Moleküle oder gar nur die Bausteine von solchen, wie die moderne Physik sie gerne und erfolgreich handhabt, sondern durchaus sichtbare Körper mit durchwegs endlichen, bestimmbar Massen. Kein Mensch denkt daran, daß sich die Bewegungen dieser Kristalle beim Fließen des festen Körpers eindeutig nach den Gesetzen der Mechanik, etwa aus Randbedingungen und Anfangszustand bestimmen lassen. Und was ist es schließlich anderes mit der vieldurchforschten, seit bald hundert Jahren bekannten *Brownschen* Bewegung? Wir haben uns längst damit abgefunden, bei dieser offenkundig mechanischen Erscheinung die Forderung des eindeutig kausal bestimmten Geschehens fallen zu lassen und uns mit einer Theorie zufrieden gegeben, bei der die Gesetze der klassischen Mechanik zwar nicht völlig ausgeschaltet, aber doch zu einer sehr bescheidenen Rolle von beschränkter Tragweite verurteilt erscheinen. In der Tat steht es also so, daß nicht mehr die Frage, ob überhaupt statistische Betrachtungsweisen zur Erklärung grobsinnlich wahrnehmbarer Bewegungen heranzuziehen seien, erörtert werden muß, sondern das weit schwierigere Problem eröffnet sich: Wo ist die Grenze zwischen den Geltungsbereichen der beiden Anschauungsweisen und in welchem Verhältnis stehen die Voraussetzungen und die Ableitungen der mechanischen Statistik zu den Grundlagen, Sätzen und Ergebnissen der *Newton-Euler-Lagrange-Cauchyschen* Mechanik?

3. *Die mechanische Statistik.* Es ist außerordentlich schwierig, über diesen Punkt etwas Hinreichendes und zugleich Verständliches zu sagen. Denn leider ist die Entwicklung der Wahrscheinlichkeitstheorie in den letzten Jahrzehnten sehr vernachlässigt oder zumindest auf höchst abwegige Bahnen gelenkt worden. Man ist, teilweise unter dem Einflusse *Poincarés*, der in seinem schönen Buche, dem berühmten „cours de probabilité“ eine Fülle hübscher Aufgaben in geistreicher Weise behandelte, allmählich dahin gelangt, die Wahrscheinlichkeitsrechnung beinahe in das Gebiet der „Mathematischen Unterhaltungen und Spiele“ zu verweisen, und hat ganz das Gefühl dafür verloren, daß es sich hier um eine ernsthafte naturwissenschaftliche Theorie für eine bestimmte Klasse beobachtbarer Erscheinungen handelt. Die Wahrscheinlichkeitsrech-

nung ist ein Teil der *theoretischen Physik*, ebenso wie die klassische Mechanik oder die Optik, sie ist eine völlig in sich geschlossene Theorie gewisser Phänomene, der sog. Massenerscheinungen, gleichgültig ob diese nun mechanischer, elektrischer oder anderer Natur sind; sie arbeitet, genau wie jede andere physikalische Theorie, mit bestimmten Voraussetzungen, die sich in klar formulierbare, die Grundbegriffe definierende Axiome zusammenfassen lassen, und leitet aus diesen deduktiv ihre Schlüsse ab. Zwei entscheidende Grundtatsachen muß ich hier hervorheben: Erstens, die Wahrscheinlichkeitsrechnung vermag ihre Resultate immer nur *aus gegebenen Wahrscheinlichkeiten* zu errechnen, so wie etwa die Mechanik nur aus gegebenen Anfangsgeschwindigkeiten die späteren Geschwindigkeiten eines Körpers bestimmt; diese Ausgangswerte der Rechnung erscheinen in der Regel, aber nicht immer, in der Form von Annahmen über sog. „gleichmögliche Fälle“. Zweitens, die Wahrscheinlichkeitstheorie kann aus den Daten, die ihr in einem konkreten Falle geboten werden, *niemals etwas anderes als Wahrscheinlichkeiten* ableiten, also Grenzwerte von relativen Häufigkeiten innerhalb unbegrenzt gedachter Folgen von Vorgängen oder Erscheinungen; insbesondere führt sie niemals zu einer *bestimmten* Aussage über den zeitlichen Ablauf eines Einzelvorganges und kann so niemals in unmittelbare Konkurrenz treten mit einem Ergebnis der Mechanik oder der übrigen deterministischen Physik. Ihre Rechtfertigung erhält die Wahrscheinlichkeitsrechnung durch die Übereinstimmung ihrer Folgerungen mit der Erfahrung, eine Übereinstimmung, die in allen bisher durchgeführten Fällen mindestens so gut ist wie die irgendeiner sonstigen physikalischen Theorie.

Es fragt sich nun, in welcher Weise diese Grundsätze einer rationellen statistischen Theorie auf mechanische Vorgänge anzuwenden sind. Ich will dabei ausdrücklich betonen, daß ich nicht an hypothetische Moleküle, Elektronen,  $\alpha$ -Teilchen oder dgl. denke, sondern nur Bewegungs- und Gleichgewichtserscheinungen an sinnlich wahrnehmbaren Massen im Auge habe. Wir können uns die Verhältnisse an einem bekannten Beispiel aus der Mechanik der starren Körper veranschaulichen. Das sog. *Galtonsche Brett* besteht aus einem durch Nägel gebildeten, regelmäßigen Gitter, in dem Kugeln, oder besser kreisrunde Scheibchen, deren Größe gerade dem Nägelabstand entspricht, herabfallen. Läßt man alle Scheibchen aus einer Zelle der obersten Reihe fallen, so kommen sie bekanntlich in der letzten Reihe in einer Verteilung an, die mehr oder weniger genau dem *Gaußschen Fehlergesetz* entspricht. Dieses Ergebnis läßt sich aus den Sätzen der klassischen Mechanik in keiner Weise folgern, ja es fehlt uns jede Vorstellung davon, wie eine solche Ableitung aussehen könnte. Man kann vom Standpunkt der Mechanik nur zweierlei versuchen: Entweder man idealisiert die Aufgabe



so weit, daß man alle Abstände als völlig exakt, alle Scheibchen als ideal kreisförmig ansieht usf., dann erhält man überhaupt gar keine Auskunft darüber, wie ein solcher Körper sich bewegt, jeder der geometrisch möglichen Wege liefert auch eine Lösung der Differentialgleichungen. Oder man sucht seinen Trost darin, daß beim Einschlagen der Nägel, bei Herstellung der einzelnen Scheibchen, bei ihrer Einführung in die Ausgangszelle usw. Unregelmäßigkeiten vorkommen und daß diese, zusammen mit äußeren Störungen, wie Luftbewegungen oder dgl. die Bahnen eindeutig bestimmen. Der Trost ist ein nur schwacher, denn praktisch bleiben die Bahnen nach wie vor unbestimmt, da es kein Mittel gibt, die einflußnehmenden Elemente zu bestimmen. Es ist ganz gleichgültig, ob wir an der Annahme festhalten, die Bahnen wären bestimmt, wenn wir die genauen Anfangsbedingungen und alle Einflüsse kennen; denn da wir keine Aussicht haben, die Kenntnis je zu erlangen, so ist es eine Annahme, von der sich nie entscheiden läßt, ob sie richtig ist oder nicht, also eine nicht wissenschaftliche. Das allein Wesentliche ist: Die Methoden der klassischen Mechanik versagen dem Problem gegenüber vollständig, die der Wahrscheinlichkeitsrechnung liefern hingegen ein ganz klares, mit der Erfahrung übereinstimmendes Resultat. Dieses hat nicht etwa die Form einer Aussage der Mechanik oder überhaupt der deterministischen Physik, d. h. es legt nicht den Ablauf der Erscheinung eindeutig fest, sondern lautet nur: Ist die Zahl der Einzelkörper und die Zahl der Nägelreihen hinreichend groß, so ist in der übergroßen Mehrheit der Fälle eine Verteilung nach dem Gaußschen Gesetz zu erwarten. Dies Resultat gewinnt man natürlich nur auf Grund bestimmter Annahmen über die Ausgangswahrscheinlichkeiten, Annahmen, die, wie schon erwähnt, in der statistischen Theorie dieselbe Rolle spielen wie die „willkürlichen“ Kraftgesetze oder die Anfangsbedingungen der Newtonschen Mechanik. Es sei nur nebenbei bemerkt, daß man im Falle des Galtonschen Brettes keineswegs einer so engen Voraussetzung bedarf, wie der in elementaren Ableitungen zugrunde gelegten, es bestände jedesmal die Wahrscheinlichkeit  $\frac{1}{2}$  für das Ausweichen nach der einen oder andern Seite — diese Voraussetzung ist in der Regel gar nicht erfüllt.

Nach diesem Schema des Galtonschen Brettes habe ich zunächst eine vollständige Theorie der Brownschen Bewegung durchgeführt<sup>3)</sup>. Sie gelangt zu Ergebnissen, die allerdings nicht identisch sind, aber leicht in Einklang gebracht werden können mit den Ergebnissen der älteren Theorien von v. Smoluchowski und Einstein. Der Unterschied besteht hauptsächlich darin, daß bei mir ausdrücklich ganz bestimmte, explicit ausgesprochene Annahmen über Ausgangswahr-

scheinlichkeiten an die Spitze gestellt werden — Annahmen, die, wie gesagt, die Rolle der Kraftgesetze in den Problemen der gewöhnlichen Mechanik spielen —, daß ferner in keiner Weise, auch nicht versteckt, von der berückichtigten Ergodenhypothese Gebrauch gemacht wird, und daß endlich die Schlußsätze eine Form annehmen, in der sie nicht als deterministische Aussagen in der Art der klassischen Physik erscheinen. Darin lag ja, wie Einstein hervorgehoben hat, ein unerträglicher Widerspruch der früheren Theorie, daß man den Ablauf der Erscheinungen einmal durch physikalische oder mechanische Gesetze als eindeutig bestimmt ansah, dann aber von ganz anderer Seite her zu Aussagen über diesen Ablauf gelangen zu können meinte. Besonders offen tritt dieser Widerspruch in der Boltzmannschen Fassung der Gastheorie zutage (die allerdings mit den hypothetischen Molekülen und nicht mit beobachtbaren Massen zu tun hat, hier also nur als Analogie herangezogen werden kann), wo man zuerst die Geschwindigkeitsänderungen nach den Gesetzen des elastischen Stoßes berechnet und dann durch Überlegungen rein statistischer Art diese Rechnungen durchkreuzt.

Ich will nun auf Einzelheiten nicht weiter eingehen und auch nicht auf die Frage zurückkommen, in welcher Weise in den früher erwähnten Problemen der Turbulenz und des Fließens fester Stoffe die statistische Theorie aufzubauen wäre. Was ich mit meinen bisherigen Veröffentlichungen<sup>4)</sup> angestrebt habe, war nur, die begrifflichen Schwierigkeiten aus dem Wege zu räumen und ein logisch mögliches Schema mechanischer Statistik anzugeben. Gewiß erheben sich noch große und mannigfaltige Schwierigkeiten anderer Art und vor allem werden uns, davon bin ich überzeugt, gewisse Enttäuschungen nicht erspart bleiben: Viele Fragen, die uns heute ganz natürlich und selbstverständlich zu sein scheinen, werden sich als endgültig unbeantwortbar herausstellen, so etwa wie seinerzeit die Newtonsche Himmelsmechanik die Frage *Keplers* nach der Größe der Radien der Planetenbahnen nicht beantwortet, sondern aus der wissenschaftlichen Betrachtung ausgeschaltet hat. Aber wie dem auch sei, mag der Verzicht groß oder klein sein, uns schwer oder leicht fallen, es schien mir unausweichlich, einmal offen und klar auszusprechen, daß es innerhalb der rein empirischen Mechanik Bewegungs- und Gleichgewichtsvorgänge gibt, die sich einer Erklärung auf Grund der *mechanischen Differentialgleichungen* auf die Dauer entziehen und den Aufbau einer geschlossenen Theorie der *mechanischen Statistik* verlangen.

<sup>3)</sup> Vgl. insbesondere die oben angeführte Arbeit in der Physik. Zeitschr.; ferner: Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung, Math. Zeitschr. 5, 1919, S. 52 bis 99 und eine leicht verständliche Darstellung in: Die Naturwissenschaften 7, 1919, S. 168 bis 175, 186 bis 192 und 205 bis 209.

<sup>4)</sup> Physikalische Zeitschrift 21, 1920, S. 225 bis 232 und 256 bis 262.

## Über das „tierische“ Leuchten.

Von Paul Buchner, München.

(Schluß.)

Als ich 1919 in der Münchener Gesellschaft für Morphologie und Physiologie im Zusammenhang mit anderen Symbioseuntersuchungen meine Auffassung des Pyrosomenleuchtens vortrug und weitere eigene Beobachtungen an Ctenophoren mitteilte, die in die gleiche Richtung wiesen, ohne von *Pierantonis* Cephalopodenstudien Kenntnis zu haben, sprach ich bereits die Vermutung aus, es möchten auch derartig hochentwickelte Organe im Grunde Mycetozoen darstellen. Für die Tintenfische war der Beweis tatsächlich schon geliefert, für die Fische sollte er nicht allzu lange auf sich warten lassen und noch dazu von einer Seite erbracht werden, die als völlig unvoreingenommen zu bewerten ist. Der Amerikaner *Harvey* lehnte zunächst in seinem Buch „The nature of animal light“ die Symbiosetheorie glatt ab, „this is certainly not the case“, und veröffentlicht im gleichen Jahre (1921) eine Mitteilung: A Fish, with a luminous organ, designed for the growth of luminous bacteria! Es handelt sich hierbei zunächst um zwei Fische des seichten Wassers, die hinsichtlich ihrer Leuchtorgane bereits früher von *Steche* sorgfältig untersucht worden waren, *Anomalops* und *Photoblepharon*, Tiere, die in einem alten, heute vom Meer ausgefüllten Kraterbecken der Bandainseln im Malayischen Archipel in Scharen zwischen den Korallenfelsen leben. Unter jedem der beiden ungewöhnlich großen Augen liegt in einer tiefen Grube ein über ein Zentimeter langes, d. h.  $\frac{1}{10}$  bis  $\frac{1}{8}$  der Körperlänge erreichendes Leuchtorgan. Im Prinzip stellt es ein dichtes Paket parallel geordneter Hautdrüsen-schläuche dar, von denen jeder sein Lumen und seinen an der Oberfläche mündenden Ausführungsgang besitzt. Hinter ihnen breitet sich ein Reflektor aus, das Auge wird durch einen Pigmentmantel geschützt und die Lichtquelle liegt derart zur Pupille, daß das Tier gerade den Lichtkegel zu überblicken vermag. Beide Formen können die Lichtquelle, die kontinuierlich leuchtet, abblenden, die eine zieht eine schwarze Hautfalte darüber, die andere dreht das ganze Organ so, daß es gegen den Augenboden zugekehrt ist. Und Anstoß zu all diesen Hilfseinrichtungen zweiten und dritten Grades gab die Aufnahme leuchtender Bakterien in den tierischen Körper, denn in den „Drüsenlumen“ liegt keineswegs ein Sekret, wie *Steche* im Banne der herrschenden Auffassungsweise meinte, sondern wuchern, vom Wirte ernährt, dichte Massen von Bakterien.

Nun gibt es aber bekanntlich ein ganzes Heer leuchtender Fische, mit deren mannigfach gebauten und zumeist noch viel komplizierteren Organen uns *Brauer*, abermals an Hand des Materials der deutschen Tiefseexpedition, vertraut gemacht hat. Die Dinge liegen, darauf hat bereits *Pierantoni* hingewiesen, aber ganz ähnlich

wie bei den Cephalopoden. Die oberflächlichen Formen, wie die eben geschilderten; und manche Vertreter der Haie haben einfacher gebaute Leuchtorgane, die ausgesprochenen Tiefseeformen kompliziertere, vor allem auch zur Linsenbildung schreitende. Und abermals neigt die erste Gruppe offenbar dazu, die Bakterien im Lumen modifizierter Drüsen anzusiedeln, während wir in der zweiten Gruppe in die Tiefe versenkte Leuchtzellen antreffen. Durchmustert man das wenige, was die Autoren, die vornehmlich anatomisch interessiert waren, über den feinsten Bau dieser Zellen mitteilen, so verstärkt sich nur die Vermutung, daß hier durchweg ein einheitliches Prinzip vorliegt. Das ursprüngliche Drüsenlumen wurde rückgebildet und damit die Insassen genötigt, eine intrazelluläre Lebensweise anzunehmen. Wir geben noch einige Bilder, um dies zu veranschaulichen. Das kleine Leuchtorgan vom Rumpf von *Gonostoma* besitzt noch ein Lumen (Fig. 8), dem von *Stomias* fehlt ein solches; bei dem Leuchtorgan von *Ichthyococcus* nimmt offenbar die mit *b* bezeichnete Bindegewebsmasse die Stelle des verkümmerten Lumens ein. *dr* deutet auf das „Leuchtsekret“, *r* auf den Reflektor, *p* auf den Pigmentschirm, vor das Organ wird nun noch eine Linse (*l*) gesetzt, deren Zellen einen stark lichtbrechenden, glasigen Charakter besitzen (Fig. 9).

Von den zahlreichen Cölenteraten des Meeres, den Polypen, Quallen usw. wurden bisher nur die Ctenophoren (Rippenquallen) unter dem neuen Gesichtspunkt genauer Prüfung unterzogen, und auch hier fand ich entsprechend den leuchtenden Stellen der lebenden Tiere bei *Beroë ovata* an den Rippengefäßen je zwei langgestreckte Zonen, auf deren Zellen Einschlüsse beschränkt sind, die ganz den Eindruck dichtgeballter Bakterien machen, und das gleiche gilt für die Leuchtzellen bei der völlig durchsichtigen Meeresschnecke *Phylliroë*, die gleich einem Sternemeer zu vielen Hunderten über das ganze Tier zerstreut sind. Um eine völlige Sicherheit zu gewinnen, bedürfte es allerdings unbedingt der Untersuchung der lebenden Objekte, allein — der Krieg hat uns unsere vornehmsten Arbeitsstätten am Meer genommen und hier wie hinsichtlich so manchen Problems mariner Zoologie werden andere, glücklichere den Ausbau der neuen Erkenntnis zu übernehmen haben.

Stellen wir nun abermals die Frage nach der Verbreitung der Leuchtsymbiosen, so wird die Hypothese, daß alles Metazoenleuchten auf solchen beruhen mag, schon wesentlich besser begründet erscheinen. Vieles ist noch zu tun, bis wir eine Gewißheit erlangen werden, die Histologie der leuchtenden Organe und ihre Entwicklungsgeschichte ist bei den verschiedensten Formen aufs neue zu untersuchen, die letzten Einzelheiten der als leuchtend erkannten Zellen sind zu analysieren, die Übertragungsweisen werden wie bei den übrigen Symbiosen in mannigfacher



Weise modifiziert sein, die erkannten Symbionten sind unter bakteriologischen Gesichtspunkten in Reinkulturen zu studieren, die Physiologie der „tierischen“ Lichterzeugung ist völlig neu zu orientieren, kurz, ein weitläufiges Haus gilt es so von Grund auf umzubauen, daß nur die wichtigsten Stützen in das neue mitzuübernehmen sind. War das alte Gebäude ganz besonders durch seine Unübersichtlichkeit ausgezeichnet, so werden in dem neuen einige klare richtende Prinzipien deutlich hervortreten.

Doch hierzu bedarf es noch einer Reihe von Jahren intensiver Arbeit, wenn wir uns auch von

stattlicher Größe sind, *Julin* hat die Leuchtorgane der Pyrosomen und ihre Entwicklung vor wenigen Jahren mit allen Mitteln der Technik sorgfältig studiert und ist nicht auf den Gedanken gekommen, daß der rätselhafte Inhalt der Zellen aus Bakterien bestehen könnte. Oder um noch ein anderes Beispiel anzuführen, die Bettwanzen haben Dutzenden von geschulten Bakteriologen als Studienobjekt gedient, um ihre tatsächlich sehr geringe Bedeutung als Überträger von Infektionskrankheiten zu untersuchen, aber keiner fand die von mir in jüngster Zeit in ihnen entdeckten stattlichen, ausschließlich sym-

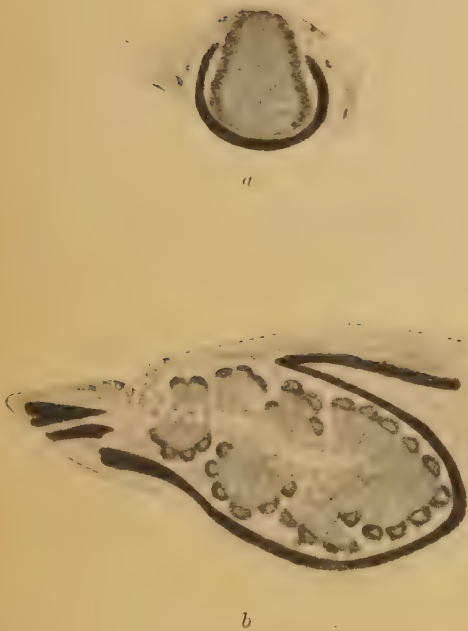


Fig. 8. Leuchtorgan von *Stomias* (a) und *Gonostoma* (b). Nach *Brauer*.

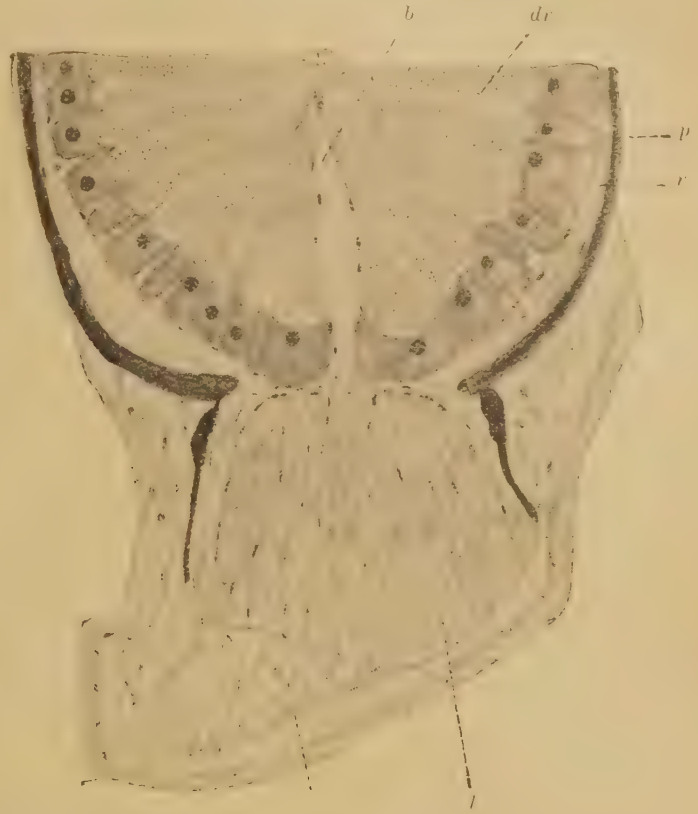


Fig. 9. Leuchtorgan von *Ichthyococcus*, oben nicht vollständig wiedergegeben. *dr* „Leuchtsekret“, *r* Reflektor, *p* Pigment, *l* Linse, *b* Bindegewebsstrang. Nach *Brauer*.

Fall zu Fall dem Ziele mehr nähern. Schwierigkeiten der verschiedensten Art stellen sich unter Umständen entgegen. Es ist keineswegs immer leicht, am lebenden wie am fixierten, geschnittenen und gefärbten Objekt kleinste Fädchen, Stäbchen, Körnchen mit Sicherheit als Mikroorganismen zu erkennen und die Möglichkeit auszuschließen, daß es sich um der Zelle selbst eigene Produkte handelt, so daß auch die ablehnende Haltung des einen oder anderen Untersuchers von erneuter Nachprüfung nicht abhalten darf. Jahrzehntlang hat man den Inhalt der Insektenmycetome für Exkrete, Sekrete, Dotter u. a. gehalten, obwohl hier die Symbionten zum Teil von

biontischen Bakterien zum Wohnsitz dienenden Organe, oder merkte etwas davon, daß alle Eier, schon von den kleinsten Stadien an, und Embryonen von solchen infiziert sind. Unter Umständen wird die Entscheidung auch dadurch erschwert, daß die Symbionten unter dem Einfluß der extremen Bedingungen, die auf sie einwirken, ihre Gestalt in ungewöhnlicher Weise ändern und sogen. Involutionsformen annehmen. Um einen solchen unsicheren Fall handelt es sich z. B. auch bei den Euphausiden, kleinen marinen Krebsen, die *Pierantoni* vor kurzem in den Kreis der Untersuchungen gezogen hat. Wir geben in Fig. 10 ein Leuchtorgan derselben wieder, auf der

uns abermals ein vorzüglich entwickelter Reflektor, eine Schicht leuchtender Zellen und ein mächtiger, das Licht verstärkender Linsenapparat begegnet. In den photogenen Zellen aber liegen kleinste Körperchen, von denen auch *Pierantoni* nicht entscheiden kann, ob sie vielleicht selbständige Organismen darstellen.

Schließlich sei noch auf eine allgemeine, sehr zugunsten unserer Auffassung sprechende Überlegung hingewiesen. Für diejenigen Zoologen und Physiologen, die in der Biolumineszenz eine Fähigkeit sehen, die ganz allgemein allen Tiergruppen zukommt und auf Oxydationserscheinungen von Substanzen zurückzuführen ist, die ebenfalls allerorts im tierischen Stoffwechsel vorkommen, muß es ganz unerklärlich sein, daß im Meere

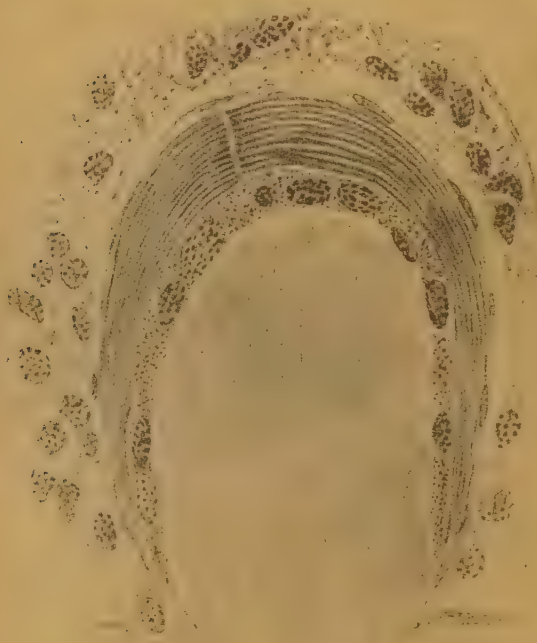


Fig. 10. Leuchtorgan einer Euphausiide. Nach *Pierantoni*.

geradezu alles leuchtet, von den Einzelligen bis zu den höchsten Knochenfischen hinauf, im Süßwasser aber alles in Dunkel gehüllt bleibt, obwohl in ihnen die gleichen Eiweißkörper vorkommen, auf die man das Leuchten zurückführen möchte. Die Symbioselehre aber vermag diesen Umstand ohne weiteres zu klären. Vorbedingung zum Zustandekommen solcher Lichtgenossenschaften ist natürlich eine reiche Flora freilebender Leuchtbakterien in der Umwelt der Tiere; und diese ist im Meere vorhanden. Wir wissen längst, daß es allerorts im Meer Leuchtbakterien in Menge gibt und daß auch kaum ein aus ihm kommender tierischer Organismus an seiner Oberfläche nicht mit ihnen behaftet ist. Geht er dann in Fäulnis über, so entwickeln sie sich in gesteigertem

Tempo. Man mag Muscheln, Krebse, Würmer, Sepien, Fische, Quallen dem Meer entnehmen und in totem Zustand feucht aufbewahren, in einigen Tagen werden sie alle ob solcher saprophytischer Bakterien in dem bekannten grünlichen Licht erstrahlen, das auch die Leuchtorgane besitzen. Die Möglichkeit der Verquickung ist also überall seit Jahrtausenden in überreichem Maße gegeben und eine solche ist an den verschiedensten Stellen im Tierreich in völlig unabhängiger Weise vor sich gegangen. Daher die auffallende Systemlosigkeit in der Vollendung der einzelnen Organe und der Umstand, daß oft eine Form über Leuchtvermögen verfügt und ein nächster Verwandter, obwohl es ihm nicht minder dienlich wäre, nicht. Jede größere systematische Einheit mußte sich gewissermaßen selbständig mit dem neu an sie herantretenden Problem abfinden und führt uns deshalb so oft die verschiedensten Etappen dieses Ausprobierens nebeneinander vor. Man vergleiche, um sich den Unterschied recht klarzumachen, nur einmal, wie ganz anders sich hierin die lichtperzipierenden Organe, die Augen, verhalten.

Auf das Leuchten entsprechend dem Süßwasser entnommener Tiere aber könnten wir lange warten, die Leuchtbakterien sind ausgesprochene Salzfreunde und auch das gewöhnliche, das Leuchten des Fleisches hervorruftende Bakterium *phosphoreum* gelangt am leichtesten zur Entwicklung, wenn man das vom Metzger kommende Fleisch in eine 3proz. Kochsalzlösung taucht und bei Zimmertemperatur 1—4 Tage aufbewahrt. Wer die Symbiosevorstellung kritisieren wollte, könnte vielleicht auch einwenden, daß das Entscheidende nicht das Fehlen einer Infektionsquelle sei, sondern das Fehlen der Bedingungen der Tiefsee, die man sich ja immer in erster Linie aus naheliegenden Zweckmäßigkeitsgründen mit leuchtenden Gestalten bevölkert denkt. Demgegenüber aber ist darauf zu verweisen, daß tatsächlich die oberflächlichen Regionen der Meere nicht minder viele Leuchttiere enthalten, man erinnere sich nur der zahlreichen Planktonten, die bei einer nächtlichen Kahnfahrt am Ruder silberglänzend aufblitzen (meist kleine Krebschen), oder der feurigen Ballen, als welche die Medusen von der Schiffsschraube zur Seite geschleudert werden. Auch im Süßwasser könnte man für viele Tiere einen mannigfachen Vorteil von einem eventuellen Leuchtvermögen erwarten.

Ganz ungeklärt sind die Dinge noch hinsichtlich der durchweg marinen, lichtbegabten einzelligen Lebewesen, der leuchtenden Radiolarien, der bekannten Noktiluka oder Meerleuchte, deren ungezählte Milliarden oft fast ausschließlich das Meerleuchten hervorrufen, und der Peridineen, von denen die beiden letzteren zu den Geißeltierchen gehören. Auch hier fehlt den nächsten Verwandten im Süßwasser, etwa den hier in ungeheurer Menge auftretenden Ceratien, die Fähigkeit der Phosphoreszenz vollkommen. Die Nokti-



luken sind neuerdings von *Pratje* eingehend untersucht worden, leider offenbar ohne daß der Verfasser mit den neuen Möglichkeiten bekanntgeworden ist, die sich auf dem Gebiet der tierischen Leuchterscheinungen in den letzten Jahren eröffnet haben — geht er ja auch in einer jüngst in der Naturwissenschaftlichen Wochenschrift erschienenen populären Darstellung des Gebietes mit keinem Wort auf sie ein. Wie seine Vorgänger stellt er fest, daß diese kleinen, bläschenförmigen Tiere, deren Durchmesser etwa  $\frac{1}{4}$  mm beträgt, nicht etwa einheitlich leuchten, sondern daß Tausende von kleinsten Lichtpünktchen über das Tier verstreut sind (Fig. 11). Diese Pünktchen aber mit Sicherheit im lebenden oder fixierten Tier mit irgendwelchen geformten Elementen

gestellter Versuche möglich ist. Dort, wo wir heute eines symbiontischen Ursprunges der Lichterscheinung sicher sind, haben die Experimentatoren ja mit einer ganz irrigen Voraussetzung gearbeitet. Immerhin vermögen wir uns in einer Reihe von Punkten auch heute schon an eine Umdeutung der bisherigen Ergebnisse wagen.

Dies gilt vor allem von der Erscheinung der Inkonstanz des „tierischen“ Lichtes gegenüber der Kontinuität des pflanzlichen. Es ist eine nahezu durchgängige Tatsache, daß die leuchtenden Meerestiere nur auf Reize hin aufleuchten, seien sie rein mechanischer Art (Schütteln, Umrühren des Wassers, Aneinanderstoßen, Zerreiben) oder chemischer Natur (Süßwasser, Stoffe der verschiedensten Art, vornehmlich Am-



Fig. 11. Leuchtende *Noctiluca miliaris*. Nach *Pratje*.

der Zelle zu identifizieren, war leider nicht möglich.

Wir verlassen die morphologische Seite des Leuchtproblems, die man bis vor kurzem als relativ abgeschlossen empfunden hat und die doch so unerwartet in prinzipieller Weise eine Vertiefung erfahren hat, um mit einigen Worten die *Physiologie der Lichtproduktion* zu streifen. Sie eingehender zu würdigen, würde einen zweiten Aufsatz notwendig machen, würde aber auch augenblicklich als ein etwas verfrühtes Unternehmen erscheinen. Denn es liegt auf der Hand, daß wir hier nun in hohem Grade umlernen müssen, ja daß hier vieles völlig neu aufgebaut werden muß, was mit vollem Erfolg nur an der Hand neu an-

moniak), oder läßt man einen elektrischen Strom oder starken Lichtreiz einwirken. Die Bakterienkultur oder ein Mycel von Leuchtpilzen aber leuchtet in gleichmäßigem Glanz. Bei genauerem Zusehen allerdings verliert dieser immer wieder betonte Gegensatz, den man vielleicht auch als Einwand gegen unsere Auffassung verwerten könnte, seine Schärfe. Einerseits büßen Bakterienkulturen auf nicht entsprechenden Nährböden unter Umständen ihre Leuchtfähigkeit ein und vornehmlich dann, wenn ihre unerläßliche Sauerstoffquelle versagt, andererseits kennen wir konstant leuchtende Tiere, wie die oben besprochenen Fische *Anomalops* und *Photoblepharon*, und wissen, daß ein ununterbrochenes, wenn auch schwaches Glimmen etwa Hand in Hand mit Ab-

sterbeerscheinungen geht, wie bei den Pyrosomen, oder neben dem hellen, rhythmisch erlöschenden sich dauernd erhält (Leuchtkäfer). Die Erklärung für das nur auf Reize Aufleuchten scheint mir in dem Sauerstoffbedürfnis der Symbionten zu liegen; schon der Umstand, daß es so heterogene Reize sind, die stets den gleichen Effekt haben, spricht ja deutlich dafür, daß sie nicht das unmittelbar Auslösende darstellen können, sondern einen indirekten Anstoß bilden. Wir stellen uns vor, daß durch sie energischere Atembewegungen veranlaßt werden, die sich unter Umständen zu krampfhaften Kontraktionen steigern können und eine ausgiebige Bespülung der Organe durch die mit Sauerstoff angereicherten Körpersäfte im Gefolge haben. Im einzelnen sind die Fälle natürlich je nach den anatomischen Verhältnissen verschieden gelagert. Bei den Leuchtkäfern steht der Zusammenhang der Atembewegungen mit dem Aufleuchten außer Zweifel. Daß die symbiontischen Leuchtbakterien wirklich entsprechend prompt auf derartige unter Umständen sicher recht geringfügige Sauerstoffmengen zu reagieren vermögen, haben die Experimente *Beijerincks* und *Molischs* an Kulturen von Leuchtbakterien überzeugend dargestellt. Wenn solche aus Sauerstoffmangel zu leuchten aufgehört haben, genügen die denkbar geringsten Spuren von Sauerstoff, um sie aufblumen zu lassen.

Das Weiterleuchten toter Leuchttiere erklärt sich zwanglos, wenn man annimmt, daß der Tod des Wirtes nicht sogleich den Tod des Symbionten nach sich zu ziehen braucht. Wenn man Leuchtorgane zerzupft, füllt sich das umgebende Wasser mit zahllosen kleinen, selbständig leuchtenden Teilen, wie wenn man eine Bakterienkultur im Wasser suspendieren würde. Völlig eingetrocknete Leuchtorgane leuchten nach Tagen noch, wenn man sie mit  $O_2$ -haltigem Wasser benetzt, *Harvey* hat nachgewiesen, daß ganz das gleiche mit sicher toten Bakterien der Fall ist. Durch solche Proben, die man beträchtlich vermehren könnte, es sei z. B. an das völlig gleichfarbige Licht erinnert, wird zum mindesten erhärtet, daß das Verhalten der Leuchtorgane nicht im Widerspruch steht zu dem der Leuchtbakterien. Modifikationen erklären sich vielmehr aus dem spezifischen Milieu der ersteren. Natürlich handelt es sich dabei streng genommen nicht um wirkliche Beweisgründe, denn man kann sich begnügen, aus den Ähnlichkeiten den Schluß zu ziehen, daß der Leuchtprozeß in tierischen und pflanzlichen Zellen eben prinzipiell der gleiche ist. Aber dadurch, daß wir heute doch nun schon von einer Reihe von Formen die Gewißheit haben, daß ihre Leuchtmaterie tatsächlich eine Bakterienansammlung darstellt, gewinnen derartige Argumente doch eine gewisse Bedeutung. Durch die Physiologie der Lichtproduktion in den einzelnen Tiergruppen ziehen sich weitgehende Ähnlichkeiten und Übereinstimmungen hindurch,

die es schwer machen, das leuchtende Agens nicht als etwas Einheitliches hinzunehmen. Ich erinnere noch einmal in diesem Zusammenhang an die so weit verbreitete Erscheinung der leuchtenden Eier in den verschiedensten Tiergruppen. Klingt es sehr wahrscheinlich, daß diese zum Teil dadurch zu erklären ist, daß zweifelloso leuchtende Mikroorganismen aus den mütterlichen Organen übergetreten sind, um das Zusammenbleiben zu garantieren, und zum anderen dadurch, daß leuchtende Stoffe, deren Produktion sonst auf ganz bestimmte Zellen der Leuchtorgane beschränkt bleibt, hier auch in einem völlig abweichend gearteten Substrat erzeugt werden, ohne daß irgendein biologischer Sinn des Vorgangs einzusehen wäre?

Wie dem auch sei, die kommenden Jahre werden die Entscheidung zu bringen haben, ob das von Tieren ausgesandte Licht zwei ganz verschiedenen Prinzipien seine Entstehung verdankt, und wo dann die Grenzen für das Symbioseleuchten zu ziehen sind — daß wir dazu neigen, sie zum mindesten sehr weit abzustrecken, wird dem Leser nicht entgangen sein —, oder ob es überhaupt kein echtes tierisches Leuchten gibt und dieses auf niedere Pflanzen beschränkt ist. In welchem Sinne die Antwort auch fallen mag, wir können schon heute feststellen, daß die Symbioseforschung und nicht zuletzt ihr spezieller Zweig, der uns hier beschäftigte, der der Leuchtsymbiosen, Dinge zutage gefördert hat, die man mit Recht zu den größten Überraschungen zählen darf, welche die Biologie in den letzten Jahrzehnten gebracht hat.

## Über die mechanischen Probleme der Herztätigkeit.

Von E. Lüscher, Bern.

Der Blutkreislauf der höheren Tiere stellt ein geschlossenes Gefäßsystem dar und unterliegt als solches den Gesetzen der Hydrodynamik. Er ist daher einer mathematisch-physikalischen Betrachtung zugänglich, soweit dies für biologische Probleme mit ihrer außerordentlichen Kompliziertheit überhaupt möglich ist. Durch die Einführung des Quecksilbermanometers von *Carl Ludwig* zur Bestimmung des mittleren Blutdruckes im Kreislauf wurde der Weg zur exakten Forschung angebahnt und eine große Zahl der Gedanken dieses Forschers sind bis zum heutigen Tag wegleitend geblieben. Zunächst nahm man dabei die *Gesamtheit* der Bedingungen des Organismus in Kauf, doch machte sich bald das Bedürfnis geltend, die einzelnen Faktoren, die den Kreislauf beeinflussen und die der Organismus fortwährend und oft ohne Zutun des Experimentators verändert, gesondert zu betrachten und einer näheren Analyse zu unterziehen. Das galt vor allem für die Untersuchung des *Herzens*, das als Motor der Blutbewegung eine besondere Stel-



lung im Kreislauf einnimmt. Man machte es sich dabei zunutze, daß auch das aus dem Körper ausgeschnittene Herz unter günstigen Bedingungen stundenlang weiterschlägt und daß man es daher an einen Apparat anschließen kann, der dem natürlichen Kreislauf nachgebildet ist und dessen mechanische Bedingungen vom Experimentator beliebig und nach Willen verändert werden können. Die Forschung verdankt *O. Frank* einen entscheidenden Schritt in dieser Richtung. Namentlich war es die Übertragung der Begriffe der Muskelmechanik, welche für die quergestreifte Skelettmuskulatur aufgestellt wurden, auf den Herzmuskel, die sich in der Folge als fruchtbringend erwies. Herzmuskel und Skelettmuskel sind befähigt, durch ihre Kontraktion mechanische Arbeit zu leisten, der erstere dadurch, daß er gleichzeitig sein Volumen und seinen Innendruck verändert, der letztere durch gleichzeitige Änderung der Länge und Spannung. Man kann sich dabei zwei Grenzfälle vorstellen: einmal eine Druck- respektive Spannungsveränderung bei gleichbleibendem Volumen respektive gleichbleibender Länge, das andere Mal eine Änderung des Volumens respektive der Länge bei gleichbleibendem Druck respektive gleichbleibender Spannung. Den ersteren Fall bezeichnet man als Isometrie, den letzteren als Isotonie. Diese theoretischen Begriffe lassen sich bis zu einem gewissen Grade experimentell realisieren, indem man zum Beispiel das Herz entweder mit einem druckregistrierenden oder mit einem volumenregistrierenden Apparat verbindet. *O. Frank* konnte dabei zeigen, daß wenigstens für das Froschherz dieselben Regeln gelten wie für den Skelettmuskel. (Das Froschherz ist für solche Untersuchungen geeigneter als das Säugetierherz, da es gegen unvermeidliche Schädigungen des Experimentes weniger empfindlich ist und außerdem infolge seines einfacheren Baues und des Fehlens eines eigenen Gefäßsystems aus der umgebenden Flüssigkeit ohne weitere Vorkehrungen seine Nahrung entnehmen kann.) Durch die Arbeiten von *Starling* und seinen Schülern, von *H. Straub* und *Rhode* hat sich in der Folge herausgestellt, daß für das Säugetierherz dieselben Regeln gelten und man ist heute bis zu einem gewissen Grade berechtigt, die Erfahrungen am Froschherzen auch auf das Säugetierherz und speziell auf das menschliche Herz zu übertragen.

Als eines der wichtigsten Ergebnisse hat sich dabei herausgestellt, daß die mechanische Leistung des Herzens, bestehe sie nun in Entwicklung von Druck oder in einer Verkleinerung des Volumens mit zunehmender Füllung, zunächst ebenfalls größer wird und nach Überschreitung einer gewissen optimalen Füllung wieder abnimmt. Daß die isometrische Druckleistung bei stärksten Füllungen wieder etwas ansteigt, spielt unter natürlichen Bedingungen kaum eine Rolle. Zwischen den beiden Grenzfällen der Isotonie und Isometrie liegen alle Zuckungsformen, bei denen

gleichzeitig Volumen und Druck eine Änderung erfahren. Die oben genannte Regel ist daher bei jeder Zuckungsform wiederzufinden. Die mechanische Zustandsveränderung des Herzens läßt sich dabei geometrisch als Raumkurve darstellen mit Druck, Volumen und Zeit als Koordinaten. Die Projektionen in die drei Ebenen ergeben die Druck-Zeit-, Volum-Zeit- und Volum-Druck-Kurve. Die letztere steht in enger Beziehung zur geleisteten Arbeit und soll noch diskutiert werden (S. 38, 1. Sp.).

Es läßt sich dabei eine allgemeine Gleichgewichtsbedingung folgender Art geben:

$$f(V, t) + \varphi(V) - p - M' \cdot \frac{d^2 V}{dt^2} - f_2 \left( \frac{dV}{dt} \right) = 0 \quad (1)$$

wobei:  $f(V, t)$  = Druck, erzeugt durch die Kontraktionskraft des Muskels. Sie ist als solche eine Funktion der Zeit und des Volumens.

$\varphi(V)$  = Druck, erzeugt durch die elastische Kraft des ruhenden Muskels. Sie hängt allein vom Volumen ab, gleichbleibende Elastizität vorausgesetzt.

$V$  = Volumen des Herzens.

$t$  = Zeit.

$p$  = Äußerer Gegendruck.

$M' \cdot \frac{d^2 V}{dt^2}$  = Druck, der notwendig ist, um dem Inhalt des Herzens und der Muskelmasse in jedem Moment eine bestimmte Beschleunigung zu erteilen.  $M'$  hängt ab von der Masse des Inhaltes und des Muskels und dessen Form. Der Faktor entspricht der Trägheitskraft.

$f_2 \left( \frac{dV}{dt} \right)$  = Druck, der notwendig ist, um die Teilchen des Inhalts und der Herzwand aneinander zu verschieben; also um Reibung zu überwinden. Man kann sie als „innere“ Reibung bezeichnen. Es wird sich dabei um eine Funktion der Geschwindigkeit handeln. Eine einfache Proportionalität ist kaum wahrscheinlich. Der Faktor entspricht der dämpfenden Kraft.

Die obige Gleichung gilt sowohl für die Entleerung wie auch mit entsprechenden Vorzeichen für die Füllung des Herzens; je nachdem der Kontraktionsdruck plus elastischer Druck oder der Gegendruck größer sind, erfolgt das eine oder das andere.

Besteht das Herz aus verschiedenen Abschnitten, so gilt für jeden Teil eine solche Gleichung. Kommunizieren diese untereinander, so treten die Gleichungen in direkte Beziehung zueinander.

Ist ein rechter Herzteil vollständig von einem linken getrennt, wie das zum Beispiel für die Säugtiere zutrifft, so kann rechter und linker Herzabschnitt gesondert betrachtet werden. Dann stehen nur auf jeder Seite zeitweise Vorhof und Ventrikel in offener Verbindung.

Was beim Herzen vor allem interessiert, ist die *Leistung von mechanischer Energie*, durch welche die Bewegung des Blutes aufrechterhalten wird. Sie entsteht aus chemischer Energie, die durch chemische Umsetzungen während der Erregung frei wird. An Hand der obigen Bewegungsgleichung und thermodynamischer Betrachtungen ist es möglich, darüber näheren Aufschluß zu erhalten.

Nach dem ersten Wärmesatz ist:

$$U_1 - U_2 = A + Q. \quad (2)$$

Dabei bedeutet:

$U_1 - U_2$  = Energieabnahme des Systems,  
 $A$  = geleistete mechanische Energie,  
 $Q$  = auftretende Wärmemenge.

Die *mechanische Energie* berechnet sich nach Gleichung (1) zu:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p \, dV + \sum \frac{d m \cdot v^2}{2} \quad (3)$$

wobei:

$p$  = äußerer Gegendruck,

$V$  = Volumen,

$dm$  = Masse eines Flüssigkeits- oder Muskelteilchens,

$v$  = Lineargeschwindigkeit des Teilchens.

Die *Wärmemenge* setzt sich gleichfalls aus mehreren Faktoren zusammen:

1. Es wird Wärme durch die *Reibung* in der Herzwand und in der Flüssigkeit erzeugt:

Das mechanische Äquivalent lautet nach Gleichung (1):

$$\int_{V_1}^{V_2} f_2 \left( \frac{dV}{dt} \right) dV$$

2. Bei dem *Energieumsatz* geht ein Teil der chemischen Energie direkt in Wärme über. Ferner kann zunächst potentielle mechanische Energie entstehen und diese auf bis jetzt unbekanntem Wege in Wärme übergehen. Dies ist zum Beispiel der Fall bei der isometrischen Kontraktion, bei der keine Bewegung und daher auch keine Reibung auftritt. Endlich bildet sich elektrische Energie, die gleichfalls zu Wärme entwertet wird. Der letztere Anteil ist übrigens, wie A. V. Hill berechnete, relativ sehr klein. Diese Wärmemengen zusammen sollen als  $Q'$  bezeichnet werden.

Durch Einsetzen in Formel (2) ergibt sich:

$$U_1 - U_2 = \int_{V_1}^{V_2} p \, dV + \sum \frac{d m \cdot v^2}{2} + \int_{V_1}^{V_2} f_2 \left( \frac{dV}{dt} \right) dV + Q'$$

Infolge der elastischen Kraft besitzt der ruhende Herzmuskel eine bestimmte potentielle Energie, welche sich ebenfalls in Arbeit und Wärme umsetzen kann. Sie hat nach Gleichung (1) den Wert:

$$\int_{V_1}^{V_2} \varphi(V) \, dV$$

Bedeutet  $U_3$  die Abnahme des Systems an chemischer Energie, so ist

$$U_1 - U_2 = U_3 + \int_{V_1}^{V_2} \varphi(V) \, dV$$

Die Schlußgleichung lautet demnach:

$$U_1 - U_2 = U_3 + \int_{V_1}^{V_2} \varphi(V) \, dV = \int_{V_1}^{V_2} p \, dV + \sum \frac{d m \cdot v^2}{2} + \int_{V_1}^{V_2} f_2 \left( \frac{dV}{dt} \right) dV + Q' \quad (4)$$

In dieser Form gilt die Gleichung für die *Entleerung des Herzens*. In bezug auf die einzelnen Herzabschnitte gilt das gleiche wie für Gleichung (1).

Diese Gleichung ist deshalb von *theoretischer* Bedeutung, weil sie in übersichtlicher Weise zeigt, in welche Energieformen sich die chemische Energie der Kontraktion umsetzt. Es läßt sich daraus unter anderem auch der Wirkungsgrad der chemischen Prozesse der Muskelkontraktion bestimmen, das heißt das Verhältnis der im Maximum auftretenden mechanischen Energie zum gesamten Energieverbrauch. Weizsäcker bezeichnet ihn als thermodynamischen Wirkungsgrad. Die mechanische Energie ist für diesen speziellen Fall gleich der Summe der drei ersten Glieder der rechten Seite zu setzen, da die mechanische Energie in einem reibungslosen System um das mechanische Äquivalent der Reibungswärme vermehrt wäre. Dazu käme noch ein bestimmter Bruchteil von  $Q'$ , da potentielle mechanische Energie, wie erwähnt, auch direkt in Wärme umgesetzt wird. Die zwei ersten Glieder lassen sich experimentell messen und das dritte Glied unter bestimmten Voraussetzungen annäherungsweise berechnen. Auch unter Vernachlässigung des Anteiles von  $Q'$  ergeben sich dabei Wirkungsgrade zwischen 40 bis 50 %, das heißt die chemische Energie kann sich zu 40–50 % in mechanische Energie umsetzen. Dies gilt zum mindesten für den Ventrikel des Froschherzens. A. V. Hill konnte ferner feststellen, daß etwa die Hälfte der chemischen Energie erst *nach* der Kontraktion frei wird und es ergibt sich daher für die Kontraktion selbst ein Wirkungsgrad von 80–90 % im



Minimum. Daraus läßt sich der Schluß ziehen, daß es sich bei der Muskelmaschine um eine chemodynamische Maschine handelt, bei der die chemische Energie *direkt in mechanische Energie* übergeht. Der Weg, auf dem sich diese Umsetzung vollzieht, ist bis jetzt eine Streitfrage geblieben.

Die Gleichung (4) hat aber auch ihre praktische Berechtigung. Bei einer Reihe von Herzkrankheiten ist es die Aufgabe des Arztes, durch Herzmittel die mechanische Leistungsfähigkeit des Herzens zu heben. Nach Gleichung (4) kann das auf verschiedenem Wege geschehen. Einmal kann durch Anwendung eines Herzmittels der Umsatz an chemischer Energie, also  $U_3$  vergrößert werden. Dann nehmen alle Glieder der rechten Seite, darunter auch die mechanische Leistung zu. Aber auch bei gleichbleibendem  $U_3$ , das heißt ohne gesteigerten Umsatz, kann eine Vergrößerung der mechanischen Leistung eintreten. Die Gleichung (4) zeigt, daß eine Zunahme der elastischen potentiellen Energie, eine Verkleinerung der „inneren“ Reibung, eine Abnahme der Geschwindigkeit bei sonst gleichen Verhältnissen, oder eine Veränderung des chemischen Prozesses, bei der  $Q'$  kleiner wird, zu diesem Ziele führt.

Während das Herz bei seiner Entleerung mechanische Arbeit liefert, muß zur Füllung Energie *aufgewendet* werden. Man hat sich lange Zeit gestritten, ob das Herz infolge besonderer Anordnung der Muskelfasern imstande sei, sich aktiv durch eigene Kontraktionskraft zu füllen. Die verbesserte Methodik gibt den Gegnern einer solchen aktiven Diastole recht und zeigt, daß *äußere* Kräfte zur Füllung notwendig sind. Dabei kommen neben der Energie, die das Blut nach dem Umlauf im Körper noch besitzt, namentlich die elastischen Eigenschaften der Lunge und ihre luftdichte Einlagerung in den Thorax in Betracht. Die Arbeit, die am Herzen geleistet werden muß, dient zur Überwindung der elastischen Kraft der Herzwand, der „inneren“ Reibung in der Ruhe und unter Umständen eines Kontraktionsrückstandes der vorangehenden Erregung. Die Formel lautet demnach:

$$U = \int_{V_3}^{V_2} \varphi(V) dV + \int_{V_3}^{V_2} f_3 \left( \frac{dV}{dt} \right) dV + u \quad (5)$$

$f_3 \left( \frac{dV}{dt} \right)$  = Druck zur Überwindung der „inneren“ Reibung in der Ruhe,  
 $u$  = Energie des Kontraktionsrückstandes.

Da das Blut am Ende der Füllung die Geschwindigkeit 0 hat, kommt eine Erteilung von kinetischer Energie nicht in Betracht.

Die Differenz aus der mechanischen Leistung während der Entleerung und der Energie, die zur Füllung aufgewendet werden muß, gibt die Energiemenge, welche durch die Erregung für den Kreislauf nutzbar wird. In Analogie zu Gleichung (3) beträgt die mechanische Leistung der Entleerung, die der Bewegung des Blutes in den Gefäßen zugute kommt:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV + \sum \frac{dm \cdot v^2}{2},$$

wobei:

$p$  = Druck gemessen am Ausgang der Kammer,  $dm$  = Masse eines Bluteilchens.

Die übrigen Größen sind schon definiert worden.

Die erwähnte Differenz nimmt daher folgende Form an:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV + \sum \frac{dm \cdot v^2}{2} - \int_{V_3}^{V_2} \varphi(V) dV - \int_{V_3}^{V_2} f_3 \left( \frac{dV}{dt} \right) dV - u \quad (6)$$

Dabei wurde von der Ansicht ausgegangen, daß die Energie, die das Herz selbst zu Wärme entwertet, während seiner Tätigkeit, nicht zur nutzbaren Arbeitsleistung gerechnet werden darf. Bei der Berechnung einer technischen Maschine würde man in derselben Weise verfahren. Befindet sich das Herz in einem stationären Zustand, so kehrt es am Ende der Füllung zum früheren Volumen zurück und  $V_3$  wird gleich  $V_1$ . Es beschreibt also einen Kreisprozeß. Dadurch, daß Klappen zwischen Vorhof und Kammer einerseits, zwischen Kammer und dem Arterienstamm andererseits vorhanden sind, wird dafür gesorgt, daß der Blutstrom nur in einer Richtung erfolgen kann und außerdem, daß die obige Differenz stets einen positiven Wert annimmt. Das Herz wird dadurch zur Arbeitsmaschine. Es hat sich experimentell ergeben, daß die Bedingungen des natürlichen Kreislaufes es dabei zum Maximum der möglichen Arbeit befähigen und daß der Wirkungsgrad zugleich seine höchsten Werte von um 30 % annimmt. Ich weise darauf hin, daß dieser Wirkungsgrad nicht mit demjenigen der chemischen Prozesse identisch ist, den ich früher (S. 36, Sp. 2 unten) besprochen habe, sondern nur die nutzbare Arbeitsleistung der ganzen Herzrevolution beurteilt. Ich habe vorhin (vorige Spalte oben) ausgeführt, auf welche Weise eine Vergrößerung der mechanischen Leistung der Entleerung denkbar ist. In jedem Falle tritt dabei auch eine Vergrößerung der nutzbaren Arbeitsleistung ein, ausgenommen wenn sie aus einer Zunahme der potentiellen elastischen Energie des ruhenden Muskels entsteht. Es ist aus den Gleichungen (4) und (6) leicht ersichtlich, daß die Differenz dabei dieselbe bleibt, das heißt, die potentielle elastische Energie, die während der Entleerung Energie abgibt, beansprucht diese wieder während der Füllung. Eine Zunahme der nutzbaren Arbeitsleistung kann ferner eintreten infolge Abnahme der Geschwindigkeit während der Füllung oder Abnahme der inneren Reibung in der Ruhe (Ab-

nahme des vierten Summanden in Gleichung [6]). Endlich kann durch eine langsamere Aufeinanderfolge der Herzschläge, also eine kleinere Frequenz, auch  $u$  kleiner werden. Dadurch nimmt die nutzbare Arbeitsleistung gleichfalls zu.

Für viele theoretische Fragen ist es zweckmäßig, den Kreisprozeß eines einzigen Herzabschnittes zu betrachten. Man hat dabei vor allem denjenigen des Ventrikels einer näheren Untersuchung unterzogen. *O. Frank* konstruierte einen Apparat, der die Veränderung des Druckes und des Volumens gleichzeitig registriert und dabei eine Volumendruckkurve graphisch zur Aufzeichnung bringt. Die von ihr umschlossene Fläche stellt die Leistung von potentieller mechanischer Energie dar und wird daher als *Arbeitsdiagramm* bezeichnet. *Frank* nannte seinen Apparat im Anschluß an die Technik Herzindikator. Dieselbe Kurve läßt sich auch geometrisch konstruieren, wenn die Druckkurve nach der Zeit und die Volumenkurve nach der Zeit bekannt sind. In dieser Weise ist *H. Straub* für das Säugetierherz vorgegangen. Die Kurve ergibt sich auch aus der Gleichung (1) mit Druck und Volumen als Variable bezogen auf die Entleerung und Füllung, und die Fläche bedeutet das Integral über das Volumen, wie es, abgesehen von der kinetischen Energie, in Formel (6) zum Ausdruck kommt. Die Kenntnis des Arbeitsdiagrammes ist von Wichtigkeit, wenn es sich um die genaue Berechnung der nutzbaren Arbeit (von *O. Frank* auch als äußere Arbeit bezeichnet) handelt, z. B., wenn der Einfluß irgendeines chemischen oder mechanischen Eingriffes festgestellt werden soll.

Bei der praktischen Berechnung der Arbeitsleistung des Herzens im natürlichen Kreislauf hat man darauf verzichtet, die Füllung des Herzens in Rücksicht zu ziehen. Dies insofern mit Recht, als für den Kreislauf die Gesamtleistung des Pumpapparates (Herz und Lunge usw.) in Betracht kommt. Für diesen Fall zeigen direkte Messungen des Druckes an der Einmündung der großen Venen in den Vorhof, daß der Druck während der Erschlaffung des Vorhofes um Null herumschwankt, um Werte, die 1–2 % derjenigen nicht überschreiten, die der Ventrikel während der gleich zu besprechenden Austreibungszeit hervorbringt. Man darf daher unter normalen Bedingungen ohne großen Fehler die Annahme machen, daß das Herz und die unterstützenden Kräfte das Blut vom Druck 0 auf den Druck der Austreibungszeit bringen. Es ist allerdings fraglich, inwieweit die Annahme auch unter abnormen Verhältnissen gilt, z. B. bei starker Stauung in den Venen.

Man hat ferner der Einfachheit halber an Stelle des Integrals:

$$\int_{V_1}^{V_2} p dV$$

den mittleren Druck in der Aorta mit der Änderung des Volumens, dem sogenannten Schlagvolumen, multipliziert. Eine Betrachtung der untenstehenden Druckkurven des Ventrikels ergibt, daß der dadurch verursachte Fehler im allgemeinen gleichfalls gering ist (Fig. 1). Man unterscheidet daran:

1. Eine Anspannungszeit, während der die Klappen gegen Vorhof und Aorta geschlossen sind und das Herz infolgedessen eine annähernd isometrische Zuckung ausführt. Sie entspricht der dünnen ansteigenden Linie.

2. Eine Austreibungszeit, während der das Blut aus dem Ventrikel nach der Aorta getrieben wird. Sie entspricht etwa der dicken Linie des Gipfels. Der mittlere Druck in der Aorta liegt auf dieser Höhe. Die Figuren zeigen, daß die Druckveränderungen während dieser Zeit gegenüber der Gesamthöhe des Druckes meist relativ gering sind. Die Einführung des mittleren Druckes an Stelle der Integration kann daher keinen wesentlichen Fehler bedingen. Unter Um-

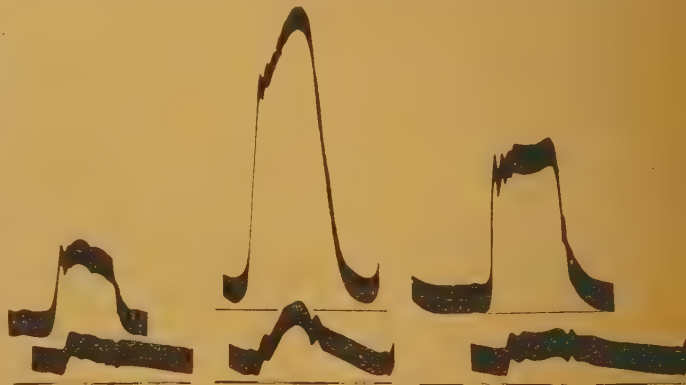


Fig. 1. Druck in der linken Kammer (obere Linie) und in der Aorta (untere Linie) des Kaninchens, nach *C. Tigerstedt*. Von links nach rechts zu lesen. Aus *R. Tigerstedt*, Lehrbuch der Physiologie.

ständen kann er allerdings, wie *O. Frank* berechnet, bis 10 % betragen.

3. Die Entspannungszeit, während der wieder beide Klappen geschlossen sind und sich der Ventrikel nahezu isometrisch entspannt. Sie entspricht ungefähr der absteigenden dünnen Linie.

Darauf folgt die Öffnung der Klappen zwischen Vorhof und Ventrikel und damit die Füllung.

Man hat ferner den Ausdruck:

$$\sum \frac{d m \cdot v^2}{2}$$

vereinfacht zu:

$$\frac{M \cdot v^2}{2}$$

wobei:  $M$  = Gesamtmasse des Blutes,

$v$  = mittlere im Maximum erreichte Lineargeschwindigkeit.

Da dieser Faktor an der ganzen Leistung des Herzens nur einen kleineren Anteil hat, ist wohl auch diese Ungenauigkeit praktisch zulässig. Es



hat allerdings *L. C. Evans* darauf hingewiesen, daß unter bestimmten Bedingungen die kinetische Energie einen beträchtlichen Teil der Gesamtleistung ausmacht.

Die vereinfachte Gleichung, wie man sie meist zur Berechnung der Arbeitsleistung benützt, lautet demnach:

$$A = p V + \frac{M v^2}{2}$$

$p$  = mittlerer Druck in der Aorta oder Lungenarterie,  
 $V$  = Schlagvolumen,  
 $M$  = Masse des bewegten Blutes,  
 $v$  = mittlere im Maximum erreichte Lineargeschwindigkeit.

Nach dieser Formel läßt sich auch die Arbeit des menschlichen Herzens berechnen, da die notwendigen Größen wenigstens annäherungsweise bekannt sind. Die folgende Berechnung gibt die absoluten Zahlenwerte dafür.

Für die linke Herzseite gilt annäherungsweise:

In der Aorta  $p = 10$  cm Quecksilber  
 $= 19 \cdot 13,6$  cm Wasser,  
 $V = 60$  ccm.

In der Aorta  $v = 50$  cm/sec,  
 $M = V s = 60 \cdot 1,06 = 64$  g, da  
 $s$  = spezifisches Gewicht,  
 $= 1,06$  für Blut,  
 $g = 981$  cm;

daher:  $p V = 10 \cdot 60 \cdot 13,6 = 8160$  gcm,

$$\frac{M v^2}{2 g} = \frac{64 \cdot 50^2}{2 \cdot 981} = 81 \text{ gcm,}$$

$A$  links = 8241 gcm.

Für die rechte Herzseite gilt annäherungsweise:

In der Lungenarterie  $p = 2$  cm Quecksilber  
 $= 2 \cdot 13,6$  cm Wasser,  
 $V = 60$  ccm.

In der Lungenarterie  $v = 60$  cm/sec,  
 $M = 64$  g,

daher:  $p V = 2 \cdot 60 \cdot 13,6 = 1632$  gcm,

$$\frac{M v^2}{2 g} = \frac{64 \cdot 60^2}{2 \cdot 981} = 117 \text{ gcm,}$$

$A$  rechts = 1749 gcm.

Die nutzbare Leistung des ganzen Pumpapparates (Herz und Lungen usw.) beträgt demnach:

$A = 9990$  gcm.

Dies gilt für einen Herzschlag. Aus der Frequenz in der Minute würde sich die Minutenarbeit und daraus die Sekundenarbeit, d. h. der Effekt, berechnen lassen.

In der gegebenen Berechnung habe ich mittlere Werte verwendet. Es zeigt sich, daß sowohl das Schlagvolumen wie auch der mittlere Druck innerhalb weiter Grenzen schwanken kann und sich in seiner Größe den Anforderungen des gesamten Organismus anpaßt. Es würde mich hier zu weit führen, auf alle die Einrichtungen einzugehen, welche den Organismus in den Stand

setzen, den Kreislauf je nach Bedürfnis zu ändern und zu regeln. Eine klare Darstellung ohne Berücksichtigung des ganzen Kreislaufes ist kaum möglich. Ich will nur andeuten, daß sich das Herz durch Änderung der Frequenz und durch Änderung der Leistung eines Schlages den Forderungen anpassen kann.

Was die letztere Art betrifft, so habe ich auf Seite 35 (Spalte 1, unten) darauf hingewiesen, daß die Leistungsfähigkeit einer Kontraktion von der Füllung abhängt. Die Regulierungsmechanismen des Kreislaufes sind dabei so eingestellt, daß die Füllung unter normalen Bedingungen stets die richtige Größe erreicht, um den Kreislauf ohne erneute Energieabgabe im Gleichgewicht zu halten.

In dem hohen Wirkungsgrad, wie er gerade unter den natürlichen Verhältnissen des Kreislaufes vorhanden ist und der Anpassungsfähigkeit an die stets wechselnden Bedürfnisse des Lebens zeigen sich die Grundprinzipien, nach denen die Natur und zum Teil auch die Technik ihre Maschinen konstruieren.

## Besprechungen.

**Peter, Karl, Die Zweckmäßigkeit in der Entwicklungsgeschichte.** Berlin, Julius Springer, 1920. X, 323 S. und 55 Textfiguren. Preis geh. M. 30,—, geb. M. 36,—.

Verfasser unternimmt es, embryonale und verwandte Gebilde und Vorgänge final zu erklären. Er will, wie er in der Einleitung sagt, den finalen Standpunkt neben dem nach seiner Meinung bisher vorherrschenden kausalen und phylogenetischen in sein Recht einsetzen. Sein Buch umfaßt drei Teile: im ersten werden die drei Betrachtungsweisen der Embryologie an Beispielen verglichen, ferner der Begriff der Zweckmäßigkeit erläutert, und der Satz von der Allgegenwart der Zweckmäßigkeit aufgestellt; der zweite Teil beschreibt die Aufgaben des reifen und des unreifen Tierkörpers im allgemeinen sowohl wie auch einzelner Organe, Bildungs- und Rückbildungsvorgänge im besonderen; der dritte Teil ist der finalen Betrachtung der Regeneration, der Vererbung, der Variabilität, des biogenetischen Grundgesetzes und der Histologie gewidmet.

Drei Fragestellungen sind nach *Peter* zur Erklärung embryonaler Gebilde und Vorgänge möglich: der phylogenetische Standpunkt forscht nach dem „Woher?“, der kausal-entwicklungsmechanische nach dem „Weshalb?“, der finale nach dem „Wozu?“ Der Verfasser glaubt diese letzte Frage jenen beiden anderen koordinieren zu sollen. Er will jedoch den Begriff der Zweckmäßigkeit nicht gleichgesetzt wissen mit dem einer Zwecktätigkeit oder Zielstrebigkeit von teleologischer Färbung, erweitert ihn vielmehr im Sinne „physiologischer, funktioneller oder biologischer Bedeutung“ schlechthin. Andererseits will er aber in der Funktion eine Erklärung für das Dasein embryonaler Bildungen finden.

Da die Zweckmäßigkeit sehr vieler embryonaler Organe und Vorgänge längst anerkannt ist, so werden uns an dem Buche *Peters* vor allem die Abschnitte interessieren, die zu der Frage Stellung nehmen: Gibt es überhaupt gleichgültige oder gar schädliche Organe

und Vorgänge? Von zahlreichen Forschern (*Jensen, Plate, Schulz* u. a.) wird bekanntlich diese Frage bejaht. *Peter* verneint sie grundsätzlich, zunächst freilich auf Grund einer ziemlich anfechtbaren Spekulation, indem er das von *Mach, Avenarius* und *Driesch* benutzte Prinzip der „Homogenität“ als Beweis für die Allgegenwart der Zweckmäßigkeit heranzieht. Wir können diesen Beweis ebensowenig gelten lassen, wie die Ansicht *Peters*, daß, weil einige früher für funktionslos gehaltene Organe neuerdings als funktionierend erkannt wurden, funktionslose Organe überhaupt nur durch unzulängliche Kenntnisse vorgetäuscht würden. Es ist ferner methodisch falsch, daß *Peter* für die Behauptung der Funktionslosigkeit jedesmal einen besonderen Beweis verlangt, während er für sich selbst das Recht beansprucht, eine Funktion auch dann zu behaupten, wenn er sie nach eigenem Eingeständnis gar nicht kennt. *Plate* hat sehr mit Recht vom Standpunkte des reinen Empirikers diese Auffassung zurückgewiesen. Daß *Peter* sich trotzdem „nicht von ihr abbringen“ läßt, kann nicht als objektive Stütze seiner Meinung gelten.

Dem Nachweis der Zweckmäßigkeit in der Entwicklung sind Kapitel 6—7 gewidmet. Zweckmäßig ist ein Tier eingerichtet, wenn es instand gesetzt ist, seine Lebensaufgaben zu erfüllen. Diese sind 1. die Erhaltung des Individuums, 2. die Erhaltung der Art. Beim unreifen Tier überwiegt die erste, beim reifen die zweite Aufgabe. Im 4. Kapitel stellt der Verfasser die Behauptung auf, daß alle Teile eines Embryos eine Funktion ausüben, die sich keineswegs immer in ihren prospektiven Bedeutungen erschöpft. Jede erste Anlage, wie auch jedes Stadium einer Rückbildung, soll ihre physiologische Bedeutung haben. Die Schwierigkeit, ja Unmöglichkeit, letztere in jedem einzelnen Falle aufzuzeigen, wird zugegeben.

Eingehend ist das Regulationsvermögen der Eier der verschiedenen Tierstämme betrachtet, hauptsächlich im Anschluß an *Przibram*. Eier, die durch dicke Hüllen, Aufenthalt im Mutterleib oder in ruhigem Wasser vor Verletzungen geschützt sind, entbehren meist das Regulationsvermögen, sind also Mosaik Eier; solche dagegen, bei denen eine Trennung der Blastomeren durch mechanische Einwirkungen leichter möglich ist, besitzen ein hohes Regulationsvermögen. Demnach wären wohl die Mosaik Eier unsprünglicher. *Roux* ist freilich — wohl mit Recht — entgegen gesetzter Meinung. Dieser Widerspruch beruht aber keineswegs auf dem Gegensatz der kausalen und finalen Betrachtungsweise, sondern nur darauf, daß letztere immer wieder gleichzeitig „erklärende“, d. h. kausal-genetische Geltung beansprucht. Die Zweckmäßigkeit eines Vorgangs oder einer Einrichtung erklärt aber nicht deren Entstehung, sondern höchstens deren Fortexistenz.

Wichtig ist die Untersuchung „ererbter“ Gebilde, die gewöhnlich nur als Reminiszenzen gelten, auf ihre Zweckmäßigkeit hin. So ergibt sich, daß das Knorpelskelett nicht nur als Grundlage des Knochenskeletts eine „Gestaltungsfunktion“, sondern auch (nach *Jäckel* u. a.) eine besondere physiologische Funktion hat durch seine Wachstumsart und Plastizität, ebenso auch die Chorda, deren erste Anlage hinsichtlich der Elastizität noch dem Knorpel überlegen ist (*Hensen, Schaffer*).

Als wichtiges finales Moment bei den ersten Wachstums- und Faltungerscheinungen am Embryo erkennt *Peter* die tunlichste Vermeidung einer inneren Reibung. Es wäre nach Ansicht des Referenten gewiß er-

freulich, wenn diese ersten Gestaltungsvorgänge schon so weit mechanisch analysiert wären, daß wir den Reibungsverhältnissen nachforschen könnten. Leider sind wir aber noch weit davon entfernt. In vielen Fällen werden Wachstumsvorgänge, Faltungen, Einsenkungen so verlaufen, wie sie auf Grund der Form- und Lagebedingungen eben verlaufen müssen, weil es anders nicht geht. Man mag dies „zweckmäßig“ nennen. Ein Gewinn an Erkenntnis fließt aus diesem Worte nicht. — Einigermäßen befremdlich erscheinen dem Referenten die Auslassungen des Verfassers über die angebliche „Unabhängigkeit der Entwicklungsstufen voneinander“. In mühevoller Arbeit ist die moderne Entwicklungsforschung bestrebt, das einzelne Stadium der Entwicklung aus dem vorausgegangenen abzuleiten. In umfangreichen, scharfsinnig durchgeführten Untersuchungen hat sie die kausale Verknüpfung der jüngsten Entwicklungsphasen aufzudecken vermocht. Gegen diesen Teil der Peterschen Deduktionen muß daher um so energischer Einspruch erhoben werden, als er sie zum Teil mit unrichtigen Behauptungen stützt. Was soll man z. B. zu dem Satze sagen: „Jeder Teil des Embryos ist schon (bei der Furchung) an der Stelle befindlich, die er später einnehmen wird.“?

Von besonderem Interesse, weil ein Prüfstein für *Peters* Lehre von der Allgegenwart der Zweckmäßigkeit, sind seine Betrachtungen über die Zweckmäßigkeit der Rückbildungen. Diese — gewöhnlich rudimentäre Organe genannt — werden ja fast allgemein für nutzlos, z. T. für schädlich erklärt. Man wird *Peter* unbedingt zustimmen, wenn er davor warnt, ein Organ um deswegen als rudimentär oder funktionslos zu bezeichnen, weil es bei einer bestimmten Tierform relativ schwach entwickelt ist (Augen der Höhlenbewohner, Scheitelange der Kriechtiere).

Als Beispiel, wie in der Entwicklungsgeschichte der finale Standpunkt neben dem kausalen und phylogenetischen zur Geltung kommen soll, gibt *Peter* eine kurze Darstellung der Entwicklung des Geruchsorgans und des Herzens der Säuger. Der Hauptunterschied gegenüber den in anderen Darstellungen zu findenden Bemerkungen über die Funktion der beschriebenen Organe und ihre Genese liegt eigentlich nur in der Form, die sich — nicht immer zum Vorteil — der in einigen neueren Schulbüchern beliebt gewordenen nähert.

In dem Kapitel „Regeneration“ befaßt sich *Peter* besonders mit der sehr unterschiedlichen Regenerationsfähigkeit bei verschiedenen Tieren, an den verschiedenen Teilen desselben Tieres und in den verschiedenen Entwicklungsstadien. Er erklärt diese Fähigkeit in Übereinstimmung mit *Réaumur, Weismann, Nusbaum* und im Gegensatz zu *Przibram* als abhängig von der Verletzbarkeit infolge innerer und äußerer Verhältnisse. Man wird hier *Peter* sicherlich beipflichten müssen, wenn auch die Bezeichnung „Abhängigkeit“ im Sinne des Verfassers irreführend ist. Die Abhängigkeit ist eine mittelbare, da sie auf der Einwirkung der Selektion beruht. Vor eine große Schwierigkeit sieht sich *Peter* bei der Besprechung der offenbar „unweckmäßigen“ Regenerate gestellt, wie die Bildung eines Schwanzes am Kopfende eines Wurmes, mehrfach Gliedmaßen oder Schwänze. Er glaubt diese Schwierigkeit überwinden zu können durch den Hinweis, daß diese Bildungen meist experimentell erzeugt, in der freien Natur aber äußerst selten sind. Bei letzterem Vorkommen seien sie überdies nur für das Individuum schädlich, aber nicht für die Art.

Hinsichtlich der Vererbung vertritt *Peter* im



allgemeinen den Standpunkt, daß nützliche Eigenschaften vererbt werden, schädliche dagegen nicht. Ausgenommen sind die Fälle, wo eine für das Individuum oder einige Generationen nützliche Eigenschaft doch für die Art auf die Dauer schädlich werden könnte.

Zur Variabilität äußert sich der Verfasser auf Grund eigener Untersuchungen an Stachelhäutern und Manteltieren. Für die Schwankungen der Variabilität sind nach seiner Ansicht ebenfalls Zweckmäßigkeitsgründe maßgebend. Größere Variabilität finden wir bei wechselnden, kleinere bei konstanten Lebensbedingungen. Wie Beobachtungen an Sperlingseiern (Vernon) und Schnecken (Bumpus) und Experimente an Seeigellarven (Peter) zeigen, vergrößern irgendwie veränderte Bedingungen die Variabilität. Diese Erscheinung verfolgt nach Peter den Zweck, mehr Angriffspunkte für die Selektion zu schaffen.

Das biogenetische Grundgesetz will Peter trotz der zahlreichen dagegen erhobenen Einwände mit gewissen Einschränkungen anerkennen. Eine Stammesentwicklung aus inneren Ursachen wird grundsätzlich verworfen. Die Beibehaltung palingenetischer, aber auch das Auftreten cenogenetischer Merkmale, beruht nur auf Zweckmäßigkeiten, auf Einwirkungen der Umwelt. Auch hier muß wieder betont werden, daß der Hinweis auf die wunderbare Beziehung zwischen arteigener Entwicklung und äußeren Bedingungen keine Erklärung für ihre Entstehung enthält. Eine solche kann vielmehr nur auf kausaler Basis versucht werden, wie es Entwicklungsmechanik und Selektionslehre tun.

Im 14. und letzten Kapitel behandelt Peter eingehend den zweckmäßigen Aufbau der Gewebe. Besonders wird die Struktur des Knochens in ihrer innigen Anpassung an die jeweilige Beanspruchung betrachtet, hauptsächlich auf Grund der Gebhardt'schen Arbeiten.

Es ist ohne Frage ein Verdienst Peters, daß er die Ergebnisse eigener und fremder Untersuchungen unter dem Gesichtspunkte der Funktion einheitlich zusammengefaßt hat. Auf das nachdrücklichste ist auch seine Forderung zu unterstützen, daß bei allen embryologischen Untersuchungen auch die physiologische Seite beachtet werde. Seine Lehre von der Allgegenwart der Zweckmäßigkeit kann zurzeit nur mit mehr oder minder Erfolg dialektisch verteidigt werden, zum Annehmen oder Verwerfen ist die Zeit noch nicht da. Sie ist auch keineswegs so unmodern, wie der Verfasser in der Einleitung sagt, aber sie ist auch nicht „revolutionär“. Daß alle Einrichtungen des Tierkörpers und die Vorgänge bei seiner Entstehung einen Nützlichkeitswert, eine Wirksamkeit, Bedeutung oder Funktion haben, ist zwar nicht überall erweisbar, auch nicht durch Peter; aber es ist wahrscheinlich trotzdem vielfach der Fall, wo wir's nicht wissen. Es wäre nur zu begrüßen, wenn diese Funktion, besonders der embryonalen Organe, nach Möglichkeit klargestellt würde, und zwar durch die Physiologie und das Experiment. Die physiologische, nach Peter finale Betrachtungsweise hat ihren Platz mit Fug und Recht neben der morphologischen und ist ihr koordiniert. Aber sie ist ebensowenig wie diese der kausalen und phylogenetischen zu koordinieren. Sie hat sich, wie die morphologische, mit der Aufdeckung von Tatsachen und Vorgängen zu begnügen. Eine weitergehende „Erklärung“ ist allein der kausalen Betrachtungsweise vorbehalten, auf die auch die phylogenetische schließlich zurückgreifen muß. Der menschliche

Geist fühlt sich eben dazu gedrängt, Vorgänge kausal zu begreifen. Auch Peter kann sich diesem Zwange nicht entziehen. Das zeigt seine Betrachtung über das Nervenrohr der Knochenfische. Dieses entsteht bekanntlich gleich als solider Kiel. Die biologisch-finale Erklärung ist nach Peter darin zu sehen, daß sich „wegen Raummangel“ keine offene Falte bilden kann. Mit Befriedigung erkennen wir darin eine rein kausale Erklärung. Über ihre Richtigkeit zu streiten, ist hier nicht der Ort. — Wie schon bemerkt, gereicht es dem Buche nicht zum Vorteil, daß der Verfasser leider nur zu oft sich nicht mit dem wirklichen oder vermeintlichen Nachweis der Zweckmäßigkeit begnügt, sondern eben in ihr eine Erklärung für die Existenz, ja sogar für die Entstehung eines embryonalen Gebildes erblickt, eine Auffassung, die wir auch nach dem oben Gesagten entschieden ablehnen müssen, als dem Geiste naturwissenschaftlicher Forschung widersprechend.

L. Glaesner, Hildesheim.

Walther, Johannes, Allgemeine Paläontologie, Geologische Fragen in biologischer Betrachtung. II. Teil: Die Vorgänge des Lebens in der Vorzeit. Berlin, Gebr. Bornträger, 1921. S. 195—352. Preis M. 15,—.

Dem ersten Teile des Werkes ist nunmehr der zweite gefolgt, der die Kapitel 22 bis 36 umfaßt (das Leben, die Anfänge des Lebens, die Sonderung der Lebewelt, Lebensraum und Fundraum, die Atmung, die Ernährung, das Wachstum, die Fortpflanzung, Einzelwesen und Stock, der Ortswechsel, der Funktionswechsel, Rasse und Art, der Tod, System und Stammbaum, die paläontologischen Sammlungen).

Dieser zweite Teil des Buches behandelt somit eine Fülle der verschiedensten Probleme aus dem großen Gebiete der Paläobiologie. Die ganze Anlage des Werkes bringt es mit sich, daß die Art der Behandlung der einzelnen Themen sich im ganzen und großen im gleichen Rahmen hält wie im ersten Teile des Buches.

Auch hier wird es wieder besonders den Fachmann interessieren, welche spezielle Stellung der Autor zu den verschiedenen Problemen einnimmt. Für eine Einführung in das Gebiet der Paläobiologie — denn die „geologischen Fragen in biologischer Betrachtung“ sind wohl zum großen Teile dorthin einzuordnen — eignet sich aber der vorliegende Teil des Werkes aus dem Grunde nicht, weil der Verfasser doch viel zu wenig Rücksicht darauf genommen hat, daß eine große Zahl von Fragen bereits von verschiedenen Seiten beleuchtet und zum Teile einer Klärung zugeführt worden ist, worüber jedoch meistens weder der Text, noch das am Schlusse jedes Kapitels beigelegte Literaturverzeichnis einen genügenden Aufschluß bieten.

Daß bei der reichen Erfahrung des Autors, der sich seit einer langen Reihe von Jahren mit biologischen Fragen in besonderer Beziehung zur Geologie beschäftigt hat, zu einer Zeit, da das allgemeine Interesse für derartige Probleme weit geringer war als heute, das Buch eine Fülle wertvoller Notizen und Einzelbeobachtungen enthält, die von großem Werte für den weiteren Ausbau der Paläobiologie sind, soll ausdrücklich und dankbar anerkannt werden. Diese in den Text verstreuten eigenen Beobachtungen und Ideen des Autors herauszulösen und von den allgemein gehaltenen Teilen des Textes zu sondern, ist allerdings nicht so leicht und dürfte, wie schon betont, nur dem Fachmann möglich sein, für den das Buch viel Wertvolles enthält. Für eine Einführung in das Gebiet der Paläobiologie erscheint es jedoch bei der auch im zweiten Teile des Werkes befolgten Methode des Zitierens und

dem Grade der Auswertung der vorhandenen Literatur kaum in dem Maße geeignet, wie es bei einem Buche über „allgemeine Paläontologie“ zu wünschen wäre.

O. Abel, Wien.

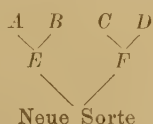
East, E. M., and D. F. Jones, *Inbreeding and Outbreeding, their genetic and sociological significance*. Monographs of experimental biology. Philadelphia und London, J. B. Lippincott, 1919. 285 S., 46 Abb. Preis \$ 2,50.

Das Buch will den Leser mit allem bekannt machen, was über den alten Gegensatz: Inzucht und Fremdbefruchtung gesagt worden ist und nach den neuesten Forschungen zu sagen ist. Man hat heute eine große Furcht vor jeglicher Art Inzucht, ohne diese oft anders als gefühlsmäßig begründen zu können. Die Verf. suchen nun die Fragen zu beantworten, ob und wodurch Inzucht schädlich wirken kann.

Das Verbot der Verwandtschaftsehe finden wir schon bei *Hammurabi*, es gründet sich wohl zum Teil auf biologische Beobachtungen, wie sie einem Hirtenvolke naheliegen. Daß aber der Sinn nicht immer richtig erkannt ist, zeigt das Verbot der Ehe mit der Schwester der verstorbenen Gatten.

In den ersten Kapiteln II—V finden wir Auseinandersetzungen über die Art der Fortpflanzung, Mechanismus der Fortpflanzung und der Vererbung sowie mathematische Berechnungen der Inzucht in den verschiedenen Generationen, also Dinge, auf die wir hier nicht eingehen können, da wir sie z. T. als bekannt voraussetzen müssen, oder da sie zu weit führen würden. Die Quintessenz ist, daß Blutsverwandtschaft an sich nicht schädlich wirkt, wohl aber die dadurch oft bewirkte Auswahl der Erbeinheiten. Die Inzucht ist sogar nützlich, wenn sie schädliche Rezessive, die bisher ihre Existenz verbergen konnten, ans Tageslicht bringt und im Kampf ums Dasein eliminiert. Im Gegensatz dazu wirkt die Fremdbefruchtung nützlich: man redet von *Heterosis* als der durch Heterozygotie bewirkten größeren Stärke der  $F_1$ -Generation als die der Eltern. Diese Stärke nimmt bei darauf folgender Inzucht innerhalb  $F_1$  wieder ab aus dem Grunde, daß die verschiedenen Faktoren zum Teil miteinander gekoppelt sind und homozygotisch nicht oder nur schlecht realisierbar. (Um ein einfaches Beispiel an Stelle eines komplizierten des Buches zu setzen: Die eine Elternpflanze heiße  $AABbccDDee$ , die andere  $aaBBCCddEE$ . Es sei  $A$  besser als  $a$ ,  $B$  besser als  $b$ ,  $C$  besser als  $c$  usw. Das direkte Kreuzungsprodukt  $F_1$  heiße nun  $AaBbCcDdEe$ , enthält also von jedem Guten etwas. Es sei nun aber gekoppelt (also untrennbar),  $Abc$  resp.  $aBC$ , ebenso  $De$  resp.  $dE$ . Dann werden die günstigsten Kombinationen  $AABBCCDDEE$  und ähnliche nicht möglich sein, das günstigste Produkt wird etwa gleich  $F_1$  sein, aber in nicht großem Prozentsatz, und auch dieses nie konstant zu züchten.)

Wie wir oben sahen, kann die Inzucht minderwertige Eigenschaften eliminieren. Wenn man also erst Inzucht zweier Rassen, dann Kreuzung anwendet, wird man sehr gute Resultate erzielen, und in der Tat züchtet man in Amerika jetzt so Getreide, allerdings noch mit einer Komplikation, die darin ihren Grund hat, daß durch die Kreuzungstechnik oft die  $F_1$ -Körner schlecht entwickelt sind. Man züchtet dann nach dem Schema:



Dabei sind  $A—D$  ingezüchtete Rassen,  $E$  und  $F$  deren Kreuzungsprodukte, die dann die neue Sorte ergeben.

Aus dem Gesagten geht also hervor, daß Inzucht auch sehr nützlich sein kann, sie kann es aber noch in einem anderen Sinne, wenn nämlich die Koppelungsverhältnisse im Chromosom derartig sind, daß günstige Eigenschaften homozygotisch zusammen bestehen können. In dem Falle ist die Inzucht der durch Fremdbefruchtung hervorgerufenen Heterosis bei weitem vorzuziehen, da diese immer nur eine Generation lang in voller Kraft besteht und diese Generation als direktes Kreuzungsprodukt klein zu sein pflegt.

Auch setzt die Heterosis der Fremdbefruchtung eine Grenze, wenn nämlich nicht genügend nahe verwandte Rassen miteinander gekreuzt werden. Man erhält dann eine kontinuierliche Stufenleiter bergab: sehr nahe verwandte Rassen (Sippen) — Heterosis; weniger nahe verwandte Rassen — vegetativ üppig, schlechte Reproduktion; noch weniger nahe verwandte Rassen — vegetativ schwach, steril; kaum kreuzbar; unkreuzbar.

Es versteht sich wohl von selbst, daß die Verf. alle diese Auseinandersetzungen mit vielen Beispielen aus dem Tier- und Pflanzenreich belegen, so ist Kapitel XI einer Aufzählung hochgezüchteter Tier- und Pflanzenrassen und Beschreibung ihrer Zuchtmethoden gewidmet. Kapitel XII und XIII wird Eugenetik getrieben, also die Anwendung auf den Menschen gemacht. Auch hier sind die Verf. konsequenterweise nicht uneingeschränkt gegen die Inzucht, da sie erfreulicherweise auf den heute seltenen Standpunkt stehen, daß ein Goliath weniger wünschenswert für ein Volk ist als ein zarter *Stevensen* (setzen wir dafür *Kant*). Sie treten daher für Ehen hervorragender Familien untereinander ein und werfen das amerikanische Gesetzesverbot von Vetternehen. In Griechenland herrschte zur Zeit der attischen Blüte starke, durch das Gesetz geforderte Inzucht. (Fremdehen wurden mit Verkauf als Sklaven und Konfiszierung des Vermögens bestraft.) Andererseits sind Inzuchtehen bei Minderwertigen schädlich (dagegen immer noch besser, als wenn sie die Hochstehenden herabziehen). Ehen mit nahe verwandten Rassen sind wünschenswert, mit ferner stehenden dagegen nicht, da dadurch das Gleichgewicht der Erbeinheiten gestört wird.

In dem Buche finden wir also das alte Problem der Inzucht und Fremdbefruchtung mit den neuesten Forschungsmethoden behandelt und durch sie vieles bisher Unklare erhellt. Es ist bedauerlich, daß die Verbreitung des Buches in Deutschland durch den Preis unmöglich gemacht wird.

G. v. Ubisch, Heidelberg.

Schnegg, Hans, *Das mikroskopische Praktikum des Brauers*. Teil I. Morphologie und Anatomie der Brauereiroh- und Hilfsstoffe. Stuttgart, Ferdinand Enke, 1921. X, 220 S. und 103 Abbildungen. Preis M. 42,—.

Das Buch bildet den 2. Band von „Enkes Bibliothek für Chemie und Technik“. Es ist als Praktikum für den im Mikroskopieren ungeübten Brauereischüler gedacht, und als Richtlinie für die Anordnung der Übungen diente offenbar die fortschreitende Fertigkeit im Präparieren und Beobachten.

Der Inhalt ist in 11 Übungen geteilt. Als erste ist eine ausführliche Besprechung der verschiedenen Arten von Mikroskopen, ihres Gebrauchs, sowie einiger Hilfsapparate angesetzt. Die zweite Übung umfaßt die Unterscheidung der verschiedenen Stärkearten und die Veränderung der Stärke während des Maischvorgangs. In der 3. Übung wird der morphologische Unterschied



der verschiedenen Braugerstesorten erklärt. Dann folgt ein sehr eingehendes Studium der Anatomie des Gerstenkorns, bei welchem die verschiedenen Zellarten des Spelzes, der Frucht- und Samenschale, der Kleberschicht und des Mehlkörpers ausführlich in den verschiedenen Schnitten erörtert werden. Die 5. Übung behandelt die Keimanlage ebenfalls sehr ausführlich, da hiervon ja die Malzentwicklung bedingt wird. Die 6. Übung bringt dann die Entwicklung des Grünmalzes in 6 Stadien. Auf den Unterschied in der Malzkeimung und der Entwicklung des Gerstenkeimlings im Erdboden wird ausdrücklich hingewiesen. Die 7. Übung bringt eine Anwendung der soeben an der Gerste erworbenen Kenntnisse auf den Weizen und das Weizenmalz. Dann kommt als 8. Übung das Studium des nächst wichtigsten Rohstoffs, des Hopfens, mit besonderer Betonung der Lupulindrüsen.

Die letzten drei Übungen betreffen die Hilfsstoffe der Brauerei. Die 9. Übung beschäftigt sich mit den Faserbestandteilen der Filtermassen. Der Unterschied zwischen Baumwolle, Lein- und Hanffaser, Asbest, Zellstoff und Wolle wird erklärt. Die nächste Übung bringt dann das Gefüge und die Unterschiede der im Betriebe verwendeten Holzarten; das Material für Klärspäne, Fässer, Spunde, Spundbüchsen wird mikroskopisch untersucht. Die letzte Übung befaßt sich mit den mikroskopisch sichtbaren Bestandteilen des Wassers, mit Mineralstoffen, Algen, Diatomeen und Urtieren. Ein Anhang gibt genaue Vorschriften für die Herstellung von Dauerpräparaten.

Das ganze Werk ist dem Verständnis eines botanisch nicht vorgebildeten Praktikers angepaßt. Man merkt beim Durchlesen die lange Unterrichtserfahrung des Verfassers. Erschwerend für das Verständnis sind einzelne sehr lange Sätze mit schwierigem, ineinandergeschachtelter Satzbau. Ganz vortrefflich ist der Text durch die vielen Abbildungen erörtert, die sämtlich nach Handzeichnungen des Verfassers sehr klar und charakteristisch wiedergegeben sind. Einen Fehler macht m. E. der Verfasser, indem er nicht die Vergrößerung des Bildes, sondern das benutzte Linsensystem angibt. Da die Zeichnungen bei der Wiedergabe verkleinert wurden, ist die Angabe der benutzten Systeme hinfällig. Dagegen könnte der Verfasser aus dem Größenunterschied zwischen Zeichnung und Druckbild leicht die tatsächliche Vergrößerung der Wiedergabe berechnen und als absolute Zahl der linearen Vergrößerung bei jedem Bilde vermerken. Diese Angabe allein wäre einwandfrei.

Wegen seiner Spezialisierung wird das Buch außerhalb des Fachkreises wohl wenig Leser finden, den Brauern und den Fachleuten verwandter Betriebe ist hier aber ein ganz vorzügliches Lehrbuch gegeben, das nicht nur dem Anfänger, sondern auch dem Praktiker noch Neues bieten kann.

Otto Rahn, Kiel.

Schröder, Chr., *Handbuch der Entomologie*. V. Lieferung. Jena, Gustav Fischer, 1920. S. 113—208 und 143 Abbild. Preis M. 12,—.

Nach siebenjähriger Pause erscheint endlich die schon sehnlichst erwartete 5. Lieferung von Schröders *Handbuch*; sie enthält Band III, Bogen 8—13, mit 143 Textabbildungen. (Besprechung von Lieferung I—III in dieser Zeitschrift Band I, 1913, S. 1307, und von Lieferung IV Band II, 1914, S. 776.) Zunächst bringt sie als Schluß des 6. Kapitels des III. Bandes die noch fehlenden 4 Seiten der Terminologie der für die Systematik wichtigsten Teile des Hautskeletts, während die übrigen 92 Seiten dem 7. Kapitel, Paläontologie, angehören. Hier wird zuerst das Vorkommen

und die Erhaltung der fossilen Insekten besprochen, die Schwierigkeit der Bearbeitung und die Lückenhaftigkeit des Materials. Ein kurzer Abschnitt ist der Schichtenfolge und den Fundorten gewidmet, und dann folgt die Besprechung der paläozoischen Insektenfauna in systematischer Übersicht auf 50 Seiten. Und den Schluß der Lieferung bildet die mesozoische Insektenfauna. Der Bearbeiter des 7. Kapitels — wie auch der ersten 6 Kapitel des III. Bandes — ist der bekannte Wiener Entomologe A. Handlirsch, dessen Arbeiten über die Paläontologie der Insekten ja grundlegend sind. Besonders hervorgehoben werden muß noch der Reichtum an vorzüglichen Abbildungen (durchschnittlich fast 2 Abbildungen auf der Seite) und die vollständig friedensmäßige Ausstattung in Druck und Papier, die sich in nichts von den früheren Lieferungen unterscheidet, so daß der Preis (vor dem Kriege 5 M. für 10 Bogen, jetzt 12 M. für 6) erstaunlich niedrig erscheint.

Arnold Japha, Halle a. S.

*Astronomisches Handbuch*, herausgegeben vom Bund der Sternfreunde durch R. Henseling. Stuttgart 1921. Mit Beiträgen von Dr. P. V. Neugebauer, C. Hoffmeister, Prof. Dr. C. Wirtz, Prof. Dr. K. Graff, W. Voß, Ph. Fauth, Prof. Dr. P. Guthnick. Stuttgart, Franckhsche Verlagsbuchhandlung, 1921. 287 S., 98 Abbildungen und 15 Tafeln. Preis M. 66,—.

R. Henseling, der seit langem alljährlich mit seinem „Sternbüchlein“ weitesten Kreisen verständliche Übersichten über die wechselnden Vorgänge am Himmel gab, hat im vergangenen Jahre in Verbindung mit einer Volksternwarte in Stuttgart den „Bund der Sternfreunde“ gegründet. Zu den zwei in Deutschland seit Jahrzehnten bestehenden Organisationen für Amateurastronomie<sup>1)</sup> ist so eine dritte mit eigener Zeitschrift, „Die Sterne“ getreten. Es ist hier nicht der Ort, ein kritisches Urteil über die drei Gruppen zu geben, deren jede ihre Vor-, aber auch Nachteile hat, und die durch edlen Wettstreit sich gegenseitig fördern können. Jedenfalls ist das junge Unternehmen sehr rührig und hat in dem im Titel genannten Buche ein gutes Werk getan. Henseling ist selbst kein akademischer Fachmann. Sein Verdienst ist es, für die einzelnen Abschnitte die geeigneten Bearbeiter gewonnen zu haben.

Das Handbuch füllt zweifelsohne eine Lücke in der astronomischen Literatur aus. Angefangen von den Heften der Göschensammlung über Diesterwegs populäre Himmelskunde, Newcomb-Engelmanns populäre Astronomie bis zu dem in der „Kultur der Gegenwart“ erschienenen Bande „Astronomie“<sup>2)</sup>, um nur einige der besten und modernsten Werke zu nennen, ist für die Einführung in die Ergebnisse der Himmelskunde gut gesorgt. Für die Liebhaber fehlt es auch nicht an Anleitungen zu eigenen Beobachtungen mit mehr oder weniger reichen Hilfsmitteln<sup>3)</sup>. Immerhin weisen diese nur auf das Betrachten der Objekte im

<sup>1)</sup> Vereinigung von Freunden der Astronomie und kosmischen Physik. Leiter J. Pfaffmann, Münster, Zeitschrift: „Die Himmelswelt“. — Internat. Gesellsch. der Liebhaber-Astronomen (mit der unschönen Abkürzung Ingedelia). Leiter H. H. Kritzinger, Berlin, Zeitschrift „Sirius“.

<sup>2)</sup> Vgl. Naturwissensch. 1921, S. 746.

<sup>3)</sup> H. J. Klein, *Handbuch der allgemeinen Himmelsbeschreibung*, Verlag Vieweg. Mc. Keady-Iklé, *Sternbuch für Anfänger*, Leipzig, A. Barth, 2. Aufl., 1921. Vgl. Naturw. 1921, S. 886.

Fernrohr, auf ein Wiederholen älterer Beobachtungen. Der bessere Amateur wird aber bald in irgendeiner Weise *wissenschaftlich Neues* erarbeiten wollen. (Ich weiß noch gut aus meiner Gymnasialzeit, daß das selbstgebaute Fernrohr mich nur ca. ein Jahr zum Schauen befriedigte, bis der Himmel ungefähr durchmustert war, daß ich dann aber mit selbsthergestellten Ringmikrometern usw. zu messen versuchte.) Für diese wirksame Hilfe, die der eifrige und *ausdauernde* Laie der Astronomie bringen kann, ist das neue Handbuch die rechte Anleitung. Beginnend mit Beobachtungsaufgaben für das freie Auge, enthält es auch schwierige Themen, wie die Bestimmung effektiver Wellenlängen, ein Problem, das selbst für Sonderforscher wie *Bergstrand*, *Rosenberg*, *Hertzprung* noch Rätsel genug hat. Es mag ja gut sein, daß noch eine Reihe derartiger Dinge dem Amateur als erstrebenswert gezeigt werden (z. B. die Bestimmung der Phasenkoeffizienten eines kleinen Planeten), er wird sich aber immer sagen müssen, daß hierbei enge Verbindung mit einem Fachmann nötig ist. Ich denke, viele von diesen werden dazu bereit sein, von den Autoren der betreffenden Abschnitte des Handbuches ist es wohl selbstverständlich. — Noch eins sei über das Buch allgemein gesagt: Mit seinen unzähligen Anregungen für die praktische Unterweisung in die Himmelskunde und deren Forschungsmethoden gehört es in die höheren Schulen, besonders in die Lehrerbibliotheken. *Interessante* Beispiele aus der Astronomie dürften der Freude an den Sternen wie an der Mathematik besonders dienlich sein.

Es würde zu weit führen, über jeden Abschnitt des Handbuches gesondert zu referieren. Besonders Glückliches, wie einiges mir nicht einwandfrei erscheinendes sei nur kurz hervorgehoben. *P. V. Neugebauer* (Berlin) berichtet über die „Literatur des Sternfreundes“ und „Sternfreund und Mathematik“. Die Auswahl an populärer Literatur ist gut, desgleichen die kritischen Bemerkungen. Vor *M. W. Meyers* „Weltgebäude“ wird etwas gewarnt, wegen seiner überkühnen Hypothesen. Das gilt auch von anderen Schriften dieses im übrigen sehr verdienstvollen Popularisators. *Sehr* vor allem aber von Schriften, wie „*Kahn*, Die Milchstraße“, die zu Unrecht vom Verlag auf der letzten Seite des Buches als „empfehlenswert“ angezeigt ist. — *C. Hoffmeister* behandelt die Instrumente. Amateur- und Fachastronom gleichzeitig, kennt er die Bedürfnisse des Liebhabers besser als der „Gelehrte“. Im Abschnitt über Sternschnuppen und Feuerkugeln ist er auf seinem Spezialgebiet. Im Kapitel über die Kometen ist seine Warnung vor voreiligen Meldungen recht am Platze. Den ersten der sieben Beiträge von *Wirtz* (Kiel) sehe ich ungern in diesem Buche. Abgesehen von der Frage, wie weit die „Korrelationsmethode“ der Astronomie Nutzen bringen wird, halte ich es für bedenklich, sie vorab weiteren Kreisen zugänglich zu machen, da ohne die hier *besonders nötige* Kritik man leicht zu Scheinergebnissen kommen kann. *Graff* (Hamburg) war der Richtige zur Besprechung der Beobachtung der Milchstraße. Einer der besten Abschnitte des ganzen Buches sind aber seine zwei Beiträge aus der Astronomie des Unsichtbaren. Für die Wissenschaft am ehesten etwas leisten kann m. E. der eifrige Laie durch Beobachtung der veränderlichen Sterne. Die instrumentellen Anforderungen sind nicht sehr hoch; hierfür wie für die interessante erste Bearbeitung der Ergebnisse gibt *P. Guthnick* (Babelsberg) ausführliche Anleitung. In *W. Vofß* und *P. Fauth* hat der Herausgeber Amateure ge-

wonnen, die in ihren Sondergebieten (Sonnenflecke bzw. Mond und Planeten) Wertvolles geleistet haben. Besonders die Ausführungen des Zweiten wird auch der Berufsastronom heranziehen, wenn er sich an gleiche Probleme begibt, zumal durch die neuere Entwicklung der Wissenschaft diese dem Arbeitsgebiet der großen Sternwarten derzeit fernerliegen.

Vielleicht ließe sich die Zahl der kleinen Ausstellungen nach obiger Art vermehren (z. B. könnte mehr von den wissenschaftlichen und populären *Zeitschriften* die Rede sein, welch letztere auch der Liebhaber lesen muß, um über Neuentdeckungen und Fortschritte auf dem Laufenden zu bleiben). Doch es sei im Interesse der Verbreitung des Buches als unwesentlich unterlassen.

J. Hopmann, Bonn.

**Theimer, Victor, Praktische Astronomie.** Geographische Orts- und Zeitbestimmung. Teubners Technische Leitfäden Bd. 13. Leipzig, B. G. Teubner, 1921. 127 S. und 62 Abbild. Preis M. 20,—.

Eins muß an dem kleinen Werkchen rühmend hervorgehoben werden: daß es mit viel Überlegung geschrieben ist und sich nicht an herkömmliche Schemata hält. Der Grundgedanke, den der Verfasser im Vorwort ausdrückt (dem Studierenden eine kurze und leicht faßliche Darstellung des einschlägigen Gebietes an die Hand zu geben . . . korrekte Darstellung und Kürze zu vereinen . . .) ist entschieden anzuerkennen, und ein solches Buch erscheint geeignet als Hilfe bei astronomischen Praktiken.

In vier Abschnitten werden der Reihe nach behandelt:

I. Planetenbewegung — Koordinatensysteme — Zeit.

II. Die an die astronomischen Beobachtungen anzubringenden Korrekturen.

III. Meridian- und Zeitbestimmung.

IV. Geographische Breiten- und Längenbestimmung.

Unstreitig der beste, weil in dieser Form vielleicht originellste Teil ist der zweite Abschnitt, in dem alle Instrumentalfehler (leider nur für das Universalinstrument; warum fehlt der Sextant?) an Hand vieler guter Zeichnungen erläutert werden. Im ersten Abschnitt sind allerlei formale Ausstellungen zu machen. Feststehende Bezeichnungen sollten vor allem in Lehrbüchern nicht verlassen werden. In der Astronomie ist stets  $e$  die „numerische“ Exzentrizität (nicht  $\epsilon$ ),  $\epsilon$  die Schiefe der Ekliptik (nicht  $\sigma$ ),  $k^2$  die Konstante des Newtonschen Gesetzes (nicht  $K$ ),  $\Delta u$  die Uhrkorrektur (nicht Uhrstandkorrektur  $\sigma$ ). Die Ableitung der Keplerschen Gesetze ist reichlich umständlich, wie überhaupt an vielen Stellen des Buches die Darstellung unnötigerweise durch zuviel Formeln kompliziert wird (z. B. S. 19/20, 25/27, 65/67, 125/127). Außerdem fehlt ein Hinweis darauf, daß das dritte Keplersche Gesetz nur ein Näherungsgesetz ist (Planetenmassen = 0!). Die Umwandlungen von Sternzeit und mittlerer Zeit wird kein Mensch nach Formeln ausführen, sondern immer nach Tabellen, die in jeder Ephemeridensammlung und auch sonst zu finden sind. Die in III. und IV. behandelten Methoden sind recht gut auseinandergesetzt. Nur scheint mir, daß man dem akademischen Leser doch gelegentlich etwas mehr zumuten darf, was Knappheit der Erläuterungen anlangt. Zu § 32 wäre noch zu bemerken, daß gerade für den „Privatmann“ Längenbestimmungen aus Mondhöhen einfacher sein dürften als aus Mondkulminationen.

Noch eines möchte ich bei dieser Gelegenheit be-



merken, weil es mir bei diesem Buche wieder besonders aufgefallen ist: nach mathematischen Formeln gehört kein Punkt, überhaupt keine Interpunktion. Ob der Kampf gegen diese Unsitte ganz aussichtslos ist?

H. Kienle, München.

**Auerbach, Felix, Moderne Magnetik.** Leipzig, J. A. Barth, 1921. VIII, 304 S. und 167 Abbildungen im Text. Preis geh. M. 48,—; geb. M. 55,—.

Der Verfasser beabsichtigte ein Lehrbuch des Magnetismus zu schaffen, das nicht gerade für den Spezialisten, sondern in erster Linie für den Techniker und Physiker, in zweiter für alle gebildeten Laien, die für dieses Gebiet Interesse haben, zum Studium geeignet ist. Er kommt damit einem großen Bedürfnis entgegen. Sind doch die wenigen Darstellungen des Magnetismus im allgemeinen nur für den Fachmann berechnet und zum größten Teile auch nicht mehr zeitgemäß.

Der Inhalt des Buches gliedert sich in elf Kapitel. Einer vorbereitenden Einleitung, in der die Grundsätze kurz erörtert werden, folgen zunächst zwei Kapitel über das Feld und die Induktion, in denen alle wichtigen hierhergehörigen Erscheinungen besprochen werden. Eine willkommene Ergänzung bildet später das Kapitel: „Einige Spezialitäten“. Wenn man auch über die prinzipielle Notwendigkeit einer solchen Trennung verschiedener Ansichten sein kann, läßt sich doch der didaktische Vorteil nicht übersehen. Dazwischen eingeschoben bringen ein Abschnitt „Panmagnetismus“ die magnetischen Materialeigenschaften und drei weitere Kapitel die vielfältigen Beziehungen zwischen den magnetischen Erscheinungen einerseits und den mechanischen, thermischen, optischen und elektrischen andererseits. Die beiden Kapitel über Meßmethoden und magnetische Theorien geben trotz gedrängter Kürze einen ausgezeichneten Überblick über diese Gebiete. Mit einem Abschnitt über Erdmagnetismus schließt das Buch.

Die Art der Darstellung ist so klar und anregend, daß gelegentliche kleine Unstimmigkeiten dagegen verschwinden. Figuren und Tabellen sind durchweg sehr instruktiv. Selbst für den Spezialisten ist die Lektüre des Buches recht erfreulich.

Im ganzen ist festzustellen, daß die Aufgabe, die sich der Verfasser gestellt hatte, gelöst ist. Das Buch kann sowohl dem Ingenieur wie dem Naturwissenschaftler warm empfohlen werden.

Das Äußere des Buches ist vortrefflich ausgestattet; Papier und Druck heben sich wohlthuend ab von vielem, was uns sonst kürzlich geboten wurde.

Steinhaus, Berlin.

**Tropfke, J., Geschichte der Elementarmathematik in systematischer Darstellung, mit besonderer Berücksichtigung der Fachwörter.** Zweite, verbesserte und sehr vermehrte Auflage. Berlin und Leipzig, Vereinigung wissenschaftlicher Verleger W. de Gruyter & Co., 1921. Erster Band: Rechnen. VII, 177 S. Preis geh. M. 40,—; geb. M. 46,—. Zweiter Band: Allgemeine Arithmetik. IV, 221 S. Preis geh. M. 50,—; geb. M. 56,—.

Das vorliegende Werk geht zurück auf eine Programmabhandlung des Verfassers vom Jahre 1899: „Erstmaliges Auftreten der einzelnen Bestandteile unserer Schulmathematik“, die allerdings nur in einem ersten Teil erschien und kurze Notizen über Auftreten der einzelnen mathematischen Lehrsätze, Kunstwörter, Zeichen u. a. enthielt. Die erste, 1902 und 1903 erschienene Auflage der Geschichte der Elementar-

mathematik umfaßte zwei Bände, die Neuauflage ist zu sieben Bänden geplant. Mehr als in der ersten Auflage ist, wie schon in dem Zusatz zum Titel zum Ausdruck kommt, besondere Aufmerksamkeit auf die Geschichte der Fachwörter verwendet. Das erhebliche Anwachsen des Umfanges ist durch ausgiebiges Heranziehen weiterer Quellschriften begründet, so hat beispielsweise die Zahl der das Kapitel Rechnen betreffenden Anmerkungen eine Vermehrung um 512 erfahren. — Jeder der beiden Bände ist in fünf Abschnitte eingeteilt, die des ersten Bandes (Rechnen) tragen die Überschriften: Die Zahlen im allgemeinen (Zahlwörter und Ziffern), die Maße, die ganzen Zahlen, die Brüche, das angewandte Rechnen; die des zweiten Bandes (Allgemeine Arithmetik): Die algebraische Ausdrucksweise, der Name Algebra, die Entwicklung des Zahlbegriffs, die algebraischen Operationen, die Logarithmen. (In der ersten Auflage stehen die Logarithmen an erheblich späterer Stelle.)

Im Gegensatz zu Cantors großem Meisterwerk — Vorlesungen über Geschichte der Mathematik —, das eine vorwiegend historische Anordnung bietet, ist hier eine systematische Darstellung in engem Anschluß an den Schullehrstoff gewählt. Der Verfasser selbst bezeichnet in dem Vorwort zur ersten Auflage sein Werk als eine Art Nachschlagebuch, ich möchte es ein vorzügliches Lexikon der Geschichte der Elementarmathematik nennen. Es erfüllt alle Bedingungen, die man an ein solches stellen kann. Durch weitgehendes Zurückgehen auf Quellschriften und Verarbeitung der neueren Literatur, durch die Anordnung des Stoffes ist der Benutzer des Buches instand gesetzt, rasch — ohne lästiges Zusammenschreiben aus verschiedenen Kapiteln — eine sichere Aufklärung über die Entwicklung dieses oder jenes Gegenstandes aus der Geschichte der Elementarmathematik sich zu verschaffen. Ein sorgfältiges und ausführliches Personen- und Sachregister, das im siebenten Bande versprochen ist und diesen ausfüllen soll, wird allerdings erst die volle Ausnutzung des umfangreichen Materials gewährleisten. Die lexikalische Kürze des Stils ist dem Charakter des Werkes durchaus angepaßt. Besonders wertvoll sind die hinter den Namen stets wiederkehrenden biographischen Notizen, die die Einordnung des Tatbestandes in eine bestimmte Zeit erleichtern und durchaus notwendig sind. Da die Tropfkesche Geschichte der Elementarmathematik keine Darstellung ist, die man in einem Zuge liest, so besteht keine Gefahr, daß hierdurch irgendwelche Eintönigkeit hervorgerufen werde. — Eine auf einige wenige Seiten zusammengedrückte Inhaltsangabe beider Bände, selbst einzelner Kapitel, würde dem Werke keineswegs gerecht werden und die philologische Kleinarbeit des Verfassers (Bd. II, S. 14!) in keiner Weise würdigen können. Ref. begnügt sich daher mit diesen Bemerkungen allgemeiner Natur.

Der Mathematiker, insbesondere der Fachlehrer der höheren Schule, der Naturwissenschaftler, der die Mathematik als Hilfsdisziplin braucht und schätzt, derjenige, dem es an Zeit zu tiefgründigen historischen Studien mangelt, der sich aber trotzdem die Resultate der modernen Forschung zu eigen machen will, alle werden oft und gern nach der „Geschichte der Elementarmathematik“ von Tropfke greifen.

Friedrich Drenckhahn, Rostock.

#### Neue amtliche Kartenwerke.

1. Vom Reichsamt für Landesaufnahme (Berlin NW 40, Moltkestraße 4) herausgegeben:

- a) Karte des Teutoburger Waldes und Weser-Berglandes. Maßstab 1 : 100 000. Schwarzdruck. 91 × 66 cm, in Taschenformat gefaltet. Ladenpreis 6,50 M.
  - b) Karte des Gebietes der freien Stadt Danzig. Maßstab 1 : 100 000. Schwarzdruck mit rot eingetragenen Grenzen nach den amtlichen Angaben der Grenzkommission. 88 × 68 cm, in Taschenformat gefaltet. Ladenpreis 6,00 M.
2. Von der Staatlichen Geologischen Landesanstalt (Berlin N 4, Invalidenstraße 44) herausgegeben:
- a) Geologische Übersichtskarte von Deutschland. Maßstab 1 : 200 000. Abteilung Preußen und Nachbarstaaten. Blatt 76, Charlottenburg. 77, Berlin. 89, Potsdam. 90, Berlin (Süd). Trier-Mettendorf. Je 43 × 30 cm. Ladenpreis je 6 Mark.
- Die ersten Blätter eines neuen, vorzüglich bearbeiteten geologischen Kartenwerkes in Vielfarbindruck.
- b) Geologische Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten 1 : 25 000. Lieferung 198, 202, 213, 223. Mit Erläuterungen. Gradabteilung 27 (53° bis 54° Nord und 30° bis 31° Ost von Ferro): Blatt Nr. 45 Mirow, 50 Babitz, 51 Zechlin, 52 Rheinsberg, 57 Zühlen, 58 Dierberg, 59 Gransee. — Gradabt. 42 (52° bis 53° Nord, 28° bis 29° Ost): Nr. 29 Kunrau, 30 Solpke, 35 Rätzlingen. — Gradabt. 55 (51° bis 52° Nord, 27° bis 28° Ost): Nr. 49 Gudensberg, 55 Homberg. — Gradabt. 61 (51° bis 52° Nord, 33° bis 34° Ost): Nr. 51 Gröditzberg, 52 Goldberg, 57 Lähn, 58 Schönan. — Gradabt. 69 (50° bis 51° Nord, 27° bis 28° Ost): Nr. 1 Schwarzenborn, 7 Neukirchen, 8 Niederaula. — Gradabt. 75 (50° bis 51° Nord, 33° bis 34° Ost): Nr. 5 Bolkenhain, 11 Ruhbank. Format ca. 46 × 46 cm. Geologisches Vielfarbenkolorit. Ladenpreis für jedes Blatt mit Erläuterungsheft M. 6,—.
3. Vom Reichsamt für Landesaufnahme (Berlin NW 40, Moltkestraße 4) herausgegeben:
- a) Große Umgebungskarte von Bonn. 1 : 100 000. 83 × 57 cm.
  - b) Wanderkarte der Lüneburger Heide. 1 : 100 000. In 5 Farben. 76 × 67 cm.
  - c) Einheitsblätter. 1 : 100 000. In 5 Farben. à ca. 68 × 57 cm. Blatt 20 (Kröpelin, Rostock, Wismar, Güstrow). — 21 (Ribnitz, Grimmen, Teterow, Demmin). — 34 (Ratzeburg, Wittenburg, Lauenburg a. d. Elbe, Hagenow). — 36 (Malchin, Neubrandenburg, Malchow, Neustrelitz). Ein neues, sehr empfehlenswertes Kartenwerk, bei dem Wald, Wiese, Gewässer und Hauptverkehrsstraßen durch verschiedene Farben gekennzeichnet sind. Jedes Blatt stellt einen Zusammendruck von mehreren, mindestens vier Blättern der Karte des Deutschen Reiches in 1 : 100 000 dar.

O. B.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Sonderbare Wirkungen des Mödlinger Trinkwassers auf Salamanderlarven.

Seit drei Jahren beschäftige ich mich im Zusammenhange mit Untersuchungen über gewisse Rückbildungserscheinungen mit der Aufzucht von Larven des Feuersalamanders. Um seine Entwicklung genau, womöglich Tag und Nacht, zu verfolgen, habe ich nicht allein in Wien, sondern auch in

M.-Enzersdorf entsprechende Kontrollversuche angestellt. Nun fiel es mir schon bei zwei früheren Versuchsreihen auf, daß sich die Larven im hiesigen Trinkwasser sehr schnell entwickeln, d. h. die äußeren Kiemen, den Rudersaum rückbilden, ans Land steigen und durch Lungen atmen, ähnlich den Kaulquappen. Heuer wollte ich die Sache näher experimentell prüfen. — Es wurde ein trächtiges Weibchen, das ungefähr drei Wochen in feuchtem Moose gehalten worden war, am 7. Mai in Wien mit dem Hinterleibe ins Wasser gesetzt und es warf 26 Larven, die ungefähr 30 mm lang waren. Nun wurden in Wien und M.-Enzersdorf (hier am 9. Mai) zwei Versuchsreihen aufgestellt, d. h. Gläser mit viel und wenig Wasser, größerer und geringerer Wasserhöhe, einer und mehr Larven — sie beißen einander manchmal die Kiemenfäden ab. Alle Aquarien wurden mit Elodea und regelmäßig mit Tubifex versehen. In Wien hatten die Tiere noch in zwei Aquarien viele Zyklops, Daphnien usw. zur Verfügung. In M.-Enzersdorf waren die Gläser in einer kühleren (1½° R tiefer als die Außentemp.) Waschküche mit wenig direktem Sonnenlichte (ungefähr ½ Stunde), in Wien erhielten die Larven teils vormittags etwas direktes Sonnenlicht, teils (an einem anderen Orte) nachmittags durch einige Stunden.

Es ergab sich nun zum dritten Male das merkwürdige Resultat, daß die normalgehaltenen, 5 bis 5,6 cm langen Larven in M.-Enzersdorf alle in der Zeit vom 9. bis 16. Juli ans Land stiegen, nachdem sie sich 12 bis 24 Stunden vorher — was in seiner Allgemeinheit auch beachtenswert ist — gehäutet hatten und einige Tage vor der Metamorphose die lichtgelben Flecken an den proximalen Teilen der Beine, über den Augen, in der Ohrgegend und längs der ganzen Wirbelsäule rostig — eine Färbung, die durch Alkohol ausgezogen wird — geworden waren. Die Larven in Wien, wie die hiesigen herrlich gedeihend, haben noch einen mächtigen Rudersaum, große, aufrechte äußere Kiemen mit langen Fransen, höchstens kleine gelbliche Flecken an den Oberschenkeln, über den Augen, in der Ohrgegend und längs der Wirbelsäule. Sie „denken“ allem Anscheine nach noch einige Wochen nicht an Metamorphose (tatsächlich erfolgte sie Ende August), ebenso drei von einem Wurf vom 9. April l. J. nicht, die nur noch größer (6 cm), sonst aber auch nicht viel weiter entwickelt sind. Weil ich vermutete, daß das hiesige kalkgipshaltige (Ca-Ion) Wasser bestimmend für die Entwicklungsförderung sein könnte, habe ich ein Zylinderglas, ¼ l Wasser fassend (gleich bei den folgenden Versuchen), mit zwei normalen (9./5.) Larven beschickt und hier viermal in entsprechenden Intervallen je ¼ Gramm CaCl<sub>2</sub> (ungelöst) zugesetzt. Siehe da, die Larven wuchsen herrlich und stiegen allem Anscheine nach sonst normal, nur vielleicht etwas kleiner wie die späteren normalen, die eine am 2. und die andere am 3. Juli auf den Stein des Glases. Also hatten sich die Larven fast synchron in 54, bzw. 55 Tagen, eine Woche früher als die normalen, entwickelt. Nur eine Larve, die nacheinander 4 Tabletten (0,1 Gramm) Thyreoidinum Dr. Heisler ins Wasser erhalten hatte, war einige Tage vorher aus dem Aquarium entwischt. Die entwickelten Larven können an einer 17 cm hohen Glaswand des Aquariums emporkriechen, was sie in der Nacht tun; sie sind also recht lebhaft Nachttiere. Auch kleine Regenwürmer fressen sie dann manchmal schon. Eine andere Larve, die dreimal je ¼ g MgSO<sub>4</sub> (fest) erhalten hatte, stieg auch einen Tag früher als die normalen ans Land. Auch in Wasser mit zweimal je 3 cm<sup>3</sup> flüssigem MgCl<sub>2</sub>,



wuchsen 4 Larven 48 Tage sehr gut, ebenso in solchem mit kristall. Kaliumbiphosphoricum (dreimal je  $\frac{1}{4}$  g) 52 Tage; besonders letzteres Stück war schon sehr groß und mächtig entwickelt, mit gelben Flecken und war dazu äußerst lebhaft, wie in meinem Tagebuch verzeichnet ist. In Wasser mit  $K_2CO_3$  (am 5. Juni  $\frac{1}{2}$  g und dann noch zweimal je  $\frac{1}{4}$  g) blieb die Larve auffallend klein, lebte aber doch 48 Tage. Außerordentlich empfindlich sind die Larven gegen Lithiumkarbonat, das sie auch in einer Menge 0,001 g nicht vertragen, ebenso gegen  $H_2S$ . In Wien gelangen die letzten etwas barbarischen Versuche bei einer früheren Versuchsreihe nicht, vielleicht weil die Gläser zu starkem, direktem Sonnenlichte ausgesetzt waren. Etwas ähnliches geschah in M.-Enzersdorf, als ich das Glas mit  $MgCl_2$  zufällig auf zwei bis drei Stunden in direktes Sonnenlicht stellte.

Wenn ich meine Versuche überschaue, so kann ich, da alle anderen Wachstumsbedingungen beiderorts annähernd — so weit es in meinen Kräften stand — gleich waren, nur die Zusammensetzung des Wassers in M.-Enzersdorf für die schnellere Entwicklung der Larven verantwortlich machen. Unser Trinkwasser, gleich dem Mödlinger, enthält in 1 Liter Wasser in Milligrammen 104,0 Kalk, 46,8 Magnesia, 43,9 Schwefelsäure, ferner Spuren von Eisenoxyd, Chlor und Salpetersäure. Gesamthärte ist 16,9 in deutschen Härtegraden, es reagiert neutral. Das Wiener Wasser der II. Hochquellenleitung enthält im Mittel aus sieben Analysen (1 Liter in Milligrammen) 39,4 Kalk, 14,1 Magnesia, 3,6 Schwefelsäure, ferner einen hohen Gehalt an gebundener Kohlensäure 72, dann Spuren von Eisenoxyd, Tonerde, Alkalien, Chlor, Salpeter- und Kieselsäure. Gesamthärte 7,9 in deutschen Härtegraden, neutral reagierend.

Die Anpassungsfähigkeit der Salamanderlarven ist gewiß sehr groß. Jedenfalls wird man künftighin bei Aufzucht von Tieren im Wasser nie mehr die Zusammensetzung des Wassers vernachlässigen dürfen. Nun sollte ich freilich noch Versuche mit destilliertem Wasser anstellen, dem die entsprechenden Salze in bestimmter Menge beigegeben wären, um die Zahl, die Qualität, und Quantität der entscheidenden Faktoren exakt festzulegen, ähnlich den Wasserkulturen bei den Pflanzen. Aber dazu fehlen einem Mittelschulprofessor Räumlichkeiten, Durchlüftungsapparate usw.

Zum Schlusse möchte ich noch hinsichtlich der Metamorphose folgendes bemerken: Die Larven des Wurfes im Mai (7. V.) sind durchschnittlich 2 mm länger als die Aprilarven (9. IV.). Ungefähr drei Wochen vor dem Anslanggehen erscheinen an den proximalen Teilen der Vorder- und Hinterbeine, später über den Augen, der Ohrgegend und längs der Wirbelsäule lichtgelbe Flecken. Der Rudersaum verschwindet von der Mitte des Rückens gegen das Schwanzende und beginnt vor der Häutung noch dorsal über der Linie, die die beiden Ansatzstellen der Hinterbeine verbindet. Ein bis drei Tage vor der Häutung werden die gelben Flecken rostig oder bekommen wenigstens einen Stich ins Rostbraune, auch krümmt sich die Larve oft S-förmig zusammen und kriecht gern unter Steine. Von nun an muß man die Larven womöglich Tag und Nacht beobachten. Die Larve häutet sich, indem die Haut am Rande des Operculums und median an der Unterseite des Körpers aufreißt. Die ganze Kopf- und Rückenhaut hängt zusammen, die Schwanzhaut bildet einen Sack. Alle Teile der Körperanhänge (auch Kiemenkörperreste) sind am „Salamanderhemd“ sehr schön erhalten. Auch nach der Häutung bleiben noch

die drei Kiemenkörper mit kleinen,  $\frac{1}{2}$  mm langen Fransen erhalten. Die Larven schnappen jetzt oft nach Luft (individuell verschieden). Nach 12 bis 36 Stunden steigt die Larve ans Land, ihre Haut ist wie schwarz lackiert; manchmal geht sie ins Wasser zurück und häutet sich (bei einem Exemplar) nach 2 bis 3 Tagen nach der ersten Häutung wieder.

2. Nov. 1921.

K. Hofmann, Wien.

## Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

In der Fachsitzung am 22. November 1921 hielt Dr. L. Waibel (Berlin) einen Vortrag über

### Die Viehzucht auf der südlichen Halbkugel.

Der Grundzug der Natur, in dem die drei Hauptproduktionsgebiete der südlichen Halbkugel gemeinsame Züge aufweisen, ist ihre Vegetation. Australien, Südafrika und Argentinien sind Grasländer, das letztere baumlos, die beiden ersteren mit Holzgewächsen oft stark durchsetzt. Das Vorkommen dieser Grasfluren ist durch den geringen und schwankenden Regenfall bedingt. In Südafrika und Australien fällt der größte Teil der 250 bis 500 mm betragenden Jahresmenge in den 3 bis 4 Sommermonaten, während der Winter trocken ist und oft mehrere Jahre hintereinander gar keinen Regenfall aufweist. Auch in Argentinien ist der Regenfall unregelmäßig und schwankend, aber die mittlere Regenmenge und ihre jahreszeitliche Verteilung sind hier wesentlich günstiger, denn hier haben wir kein Hochplateau, sondern ein Tiefland. Die Pampa grenzt auf viele hundert Kilometer Erstreckung an das Meer. Die Regenmenge von 800—1000 mm jährlich fällt zwar ebenfalls meist im Sommer, doch auch der Winter weist etwa 50 mm im Monat auf. Nach dem Inneren zu nimmt der Regen ab bis auf 400 mm und wird unregelmäßiger.

Die Temperatur ist in allen drei Gebieten ziemlich gleich hoch, vor allem auch im Winter, so daß Schnee selten ist, wodurch ein freier Weidegang für die Tiere ermöglicht wird. Das Gras verfault nicht, sondern trocknet auf dem Halm, eine Tatsache von großer Wichtigkeit für die Viehzucht. Solchen Vorteilen stehen als Nachteil der Wassermangel und die Trockenperioden gegenüber. In Australien herrschten in den Jahren 1897 bis 1904 furchtbare Dürren, denen 50 Millionen Schafe und 5 Millionen Rinder zum Opfer fielen.

Dem Menschen bietet die Steppe den Vorteil, daß die Arbeit des Rodens, die in Waldländern die Landwirtschaft so verteuert, fortfällt, vielmehr vom ersten Tage an Viehwirtschaft getrieben werden kann. Dafür aber erwächst die Aufgabe des Suchens und Grabens nach Wasser. Die Herden weiden vollkommen frei unter der Aufsicht weniger berittener Hirten. Bei dieser Wirtschaftsform müssen die Weidegebiete sehr groß, bis zu 2000 qkm, und der Boden billig sein. Übelstände sind: Mangel an Wasserstellen, Abhandkommen von Tieren, während oft fremde auf der eigenen Farm weiden. In Südafrika ist diese primitive Form der Weidewirtschaft noch weit verbreitet.

In Australien und Argentinien dagegen herrschen schon höhere Stufen der Entwicklung, die eine rationelle Zucht ermöglichen und auch die Verbreitung von Seuchen verhindern. Die Weidegebiete werden durch Einzäunung abgegrenzt, und die Tiere bleiben ohne Wächter Tag und Nacht im Freien. Aber die Drahtzäune verursachen große Unkosten, zumal jede Abteilung eine Wasserstelle haben muß. Die Bohrtechnik



hat in Australien artesisches Wasser aus 2000 m Tiefe gefördert. Auch Windmotoren werden viel zur Wasserhebung benutzt.

Eine weitere Vervollkommenheit erfährt die Weidewirtschaft durch künstliche Bewässerung und Anbau von Futterpflanzen, vor allem der Luzerne, der besten auf Regen angewiesenen Futterpflanze der Welt, die seit 1870 in Argentinien angebaut wird und 1915 bereits 75 000 qkm bedeckte. In neuester Zeit wird auch Hafer, Gerste und Roggen für die Winterweide angebaut, dadurch die Viehzucht mit dem Ackerbau in Verbindung gebracht und der Weidewirtschaft eine ganz neue Tendenz gegeben. So wird der Betrieb sicherer und rentabler gestaltet.

Bei weiterer Entwicklung tritt an die Stelle der Weidewirtschaft eine intensive Viehhaltung, die auf hochwertige Produkte ausgeht. Hier stehen Australien und Südafrika weit hinter Argentinien zurück. In Südafrika leidet die Viehhaltung auch durch die großen Raubtiere, die in Argentinien und Australien fehlen. Der ganze ungeheure Tierreichtum Argentiniens stammt aus dem Jahre 1569, wo die Spanier 500 Pferde, 4000 Rinder und ebenso viele Schafe von Peru aus nach dem La Plata einfuhrten. Sie verwilderten rasch und ihre Qualität verschlechterte sich. In Südafrika züchteten die Eingeborenen schon vor der Europäerherrschaft Buckelrinder und Fettschwanzschafe. 1652 wurden die ersten Zuchttiere aus Holland eingeführt, und es entstanden dann durch Kreuzung Afrikanerrind, Afrikanerschaf und Basutopferde. Nach Australien brachte 1788 der erste Strälingstransport 60 Tiere mit, meistens Schafe, die vorzüglich gediehen und in der trockenen Luft gute Wolle lieferten. Rinder und Pferde kamen gar nicht auf. 1800 wurde das spanische Merinoschaf als Wollschaf eingeführt. Man zählte in Australien 1840 bereits 6 Millionen, 1891 als Höchstziffer 106,5 Millionen Schafe. Durch die oben erwähnten Dürren sank der Bestand dann auf die Hälfte, hob sich aber bis 1917 wieder auf 85 Millionen. Von Australien aus breitete sich die Wollschafzucht über die ganze südliche Erdhälfte aus. 1913 hatte Südafrika 36 Millionen Schafe, davon  $\frac{1}{4}$  Merinos, Argentinien 1914 schon 81 Millionen Schafe. Der Schafzucht gegenüber traten die anderen Haustierarten auf der südlichen Halbkugel sehr zurück. Erst seit 1890 hat der Ackerbau auch Rinder und Pferde zur Geltung gebracht. 1911 zählte man in

|        | Argentinien | Südafrika | Australien |
|--------|-------------|-----------|------------|
| Rinder | 30 000 000  | 6 000 000 | 11 000 000 |
| Pferde | 8 000 000   | 700 000   | 3 000 000  |

Für Südafrika und Australien kommen noch Maultiere und Esel in Betracht. Schweinezucht ist ganz jung und noch unbedeutend. Die Ziegenzucht ist der einzige Zweig der Viehwirtschaft, in dem Südafrika die beiden anderen Gebiete übertrifft, insbesondere nachdem 1860 die seidenhaarige Angoraziege eingeführt wurde. Das einzige spezifisch südafrikanische Tier, dessen Züchtung auch in anderen Erdteilen weltwirtschaftliche Bedeutung erlangt hat, ist der Strauß, dessen Eier seit 1864 auch künstlich ausgebrütet werden.

Anfangs konnte man in den dünn besiedelten Ländern der südlichen Halbkugel von den Rohstoffen der Zuchttiere nur Hörner, Häute und Wolle verwenden. Das Fleisch blieb ungenutzt liegen, so daß Häute teurer

bezahlt wurden als die lebenden Tiere, und man z. B. Pferde lediglich der Häute wegen schlachtete. Um 1800 wurden 700 000 bis 800 000 Häute und Felle jährlich aus Argentinien ausgeführt. Wolle aus der südlichen Halbkugel, sogenannte Überseewolle, gelangte zum ersten Male auf den Weltmarkt von Australien 1820, von Südafrika und La Plata 1841.

Verhältnismäßig spät erst fand auch das Fleisch Verwertung, anfangs als leichtgesalzenes Dörrfleisch. Von 1880 an bürgerten sich neue Methoden der Fleischverwertung ein (Konservenfleisch, Gefrierfleisch, Fleischextrakt), die den Transport durch die heißen Tropen nach den Verbrauchsländern der nördlichen Halbkugel ermöglichten. 1862 wurde der erste Fleischextrakt in Uruguay gewonnen. Seine Herstellung ist auf die Länder des La Plata beschränkt geblieben. Seit 1870 führte Australien Konservenfleisch aus. Ende der siebziger Jahre erfand man in Australien die Gefriermaschine und 1880 kamen die ersten Gefrierfleischtransporte von dort, 1881 aus Neuseeland, 1882 aus Argentinien, das heute in diesem Export an erster Stelle steht und auch die Vereinigten Staaten von Amerika übertrifft.

Die hochwertigsten Ausführprodukte, nämlich die *Molkereierzeugnisse* (Milch, Butter, Käse), spielen erst seit 1890 in Verbindung mit dem Aufschwung des Ackerbaues für den Export eine Rolle. Nach Südafrika mußte noch bis zum Beginn des Weltkrieges Butter eingeführt werden, während Australien schon länger eine große Butterausfuhr aufweist. Erst die Gefrierindustrie ermöglichte den Transport durch die Tropen.

Zusammenfassend kann man sagen, daß Argentinien in der Erzeugung von Häuten und Fleisch die Führung hat. In der Wollproduktion stehen sich Australien und Argentinien gleich. Butter kommt hauptsächlich von Australien. Südafrika steht in allem weit zurück; am meisten kommt noch die Wolle in Betracht. Die Viehzucht hat sich in allen drei Gebieten höchst gleichartig entwickelt. Wir haben es mit einer großartigen Konvergenzerscheinung in biologischem Sinne zu tun.

In der anschließenden Besprechung wies Konsul Braß auf das durch Deutsche in Südwestafrika eingeführte Karakulschaf hin, das die Persianerfelle liefert. 1920 sind aus Südafrika nach Deutschland 4000 bis 5000 solcher Felle exportiert worden, die denen aus der Heimat des Tieres, Bucharas, ziemlich gleichwertig waren. Geheimrat Busse betonte den Unterschied zwischen Viehhaltung und Viehzucht und ging ausführlich auf die Maßnahmen der deutschen Kolonialverwaltung zur Hebung der Viehzucht in Südafrika ein. In dessen tropischen Teilen ist die Viehzucht zwar viel komplizierter, aber in den Einzelfragen auch interessanter als in den von dem Vortragenden berücksichtigten Gebieten. Das von den Eingeborenen geübte Abbrennen des Grases ist, wie im Nyassahochland 1900 angestellte Versuche ergaben, eine praktische Maßregel, da das Vieh in dem nicht abgebrannten  $1\frac{1}{2}$  m hohen verfilzten Grase nicht weiden kann. In Togo wird das Gras sogar 4 m hoch. Eine ausschlaggebende Rolle bei der Viehzüchtung spielen jedoch die jeweiligen wirtschaftlichen Verhältnisse. So ist es z. B. in Südwestafrika heute nicht mehr möglich, ein Stück Vieh mit Gewinn zu verkaufen. O. B.





# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 3. (Seite 49—64)

20. Januar 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Julius von Hann. Von *R. Süring*, Potsdam. S. 49.  
Über humorale Übertragbarkeit der Herznerven-  
wirkung. Von *O. Loewi*, Graz. S. 52.

### Besprechungen:

Lieske, Rudolph, Morphologie und Biologie der  
Strahlenpilze (Aktinomyceten). Von *R. O. Neu-  
mann*, Bonn. S. 55.

Baer, W., Die Tachinen als Schmarotzer der  
schädlichen Insekten. Von *Albrecht Hase*,  
Berlin-Dahlem. S. 56.

Alverdes, Friedrich, Rassen- und Artbildung.  
Von *Günther Just*, Berlin-Dahlem. S. 56.

Schaxel, J., Untersuchungen über die Form-  
bildung der Tiere. Von *Alfred Fischel*, Wien. S. 57.

### Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Zum allgemeinen Magnetfeld der Sonne. Von  
*H. Rudolph*, Coblenz. S. 57.

Deutsche Ornithologische Gesellschaft. S. 58.

Deutsche Meteorologische Gesellschaft. S. 59.

Botanische Mitteilungen. S. 60—63.

Astronomische Mitteilungen. S. 63—64.

**Verlag von Julius Springer in Berlin W 9**

In diesen Tagen erscheint:

## Das Weltgebäude im Lichte der neueren Forschung

Von

**Dr. W. Nernst**

o. ö. Professor an der Universität Berlin

Preis M. 12.—

### Inhaltsverzeichnis:

I. Einleitung. Fixierung der Probleme. — II. Das Weltgebäude im Lichte  
der neueren Forschung. — III. Ergänzungen. Temperatur des Weltenraumes.  
Reversibilität radioaktiver Prozesse. Gravitationsenergie und Wärme. Lebensdauer  
der Fixsterne. Uran als Sprengstoff. Energiestrahlung der Sonne. Chemische  
Zusammensetzung der Meteoriten. Nullpunktsenergie des Lichtäthers. Zur so-  
genannten Heßschen Strahlung. Planeten- und Doppelsternbildung.

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 40.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 4.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 80 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24.**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.

Reichsbank-Giro-Konto: Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse 3.  
Postcheck: für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20220 Julius Springer.  
Konten: für Anzeigen- u. Beilagenbeiträge: Berlin Nr. 11893 Julius Springer.  
für alle übrigen Zahlungen: Berlin Nr. 11100 Julius Springer.

Man verlange  
Listen!



### Projektions-Apparate Liesegang

Hochkerziges

## Globoscop

entwirft scharfe, helle Lichtbilder nach jedem Papierbild. An jede elektrische Lichtleitung anzuschließen.

Neue große Lichtbilder-Sammlung  
aus allen Gebieten  
für Lehr- und Vortragzwecke!

**Ed. Liesegang, Düsseldorf**  
Brieffach 124

## Die Naturwissenschaften 1915 bis 1920 zu kaufen gesucht.

Angebote unter **Nw. 236** an die Expedition dieser Zeitschrift erbeten. (286)

### Mineralien, Kristalle und Gesteine

einzelnen und in ganzen Sammlungen.

Spez.: Vogtl. u. sächs. Vorkommen, sowie Graptolithen  
offert preiswert und in reicher Auswahl

**Mineralien-Niederlage A. Jahn**

Planen i. V., Oberer Graben 9 (259)

## Voigt & Hochgesang Göttingen

Fabrik f. Dünnschliffe,  
Kristallpräparate von  
eigenem, sowie von  
geliefertem Material. (260)

Schul- und Studiensammlungen von ersten  
Fachleuten der Wissenschaft zusammengestellt.  
Kataloge stehen kostenfrei zur Verfügung.

## Mikroskop

zu kaufen gesucht. (273)

Angebote unter **F. C. 5126** an **Rudolf Mosse, Cassel.**

Verlag von **Julius Springer** in Berlin W 9

In diesen Tagen erscheint:

## Intelligenzprüfungen an Menschenaffen

Von **Wolfgang Köhler**

Zweite, durchgesehene Auflage

der „Intelligenzprüfungen an Anthropoiden I“

Aus den Abhandlungen der Preuss. Akademie  
der Wissenschaften, Jahrgang 1917, Physikalisch-  
Mathematische Klasse, Nr. 1

Mit 7 Tafeln und 19 Skizzen. (IV, 194 S.)

Preis M. 66.—; gebunden M. 78.—

## Die großen Handbücher



von Abderhalden, Abegg, Bredig, Dammer,  
Doelter, Gmelin-Krauth, Hertwig, Kolle-Wasser-  
mann, Lueger, Lunge, Muspratt, Richter,  
Rubner, Ullmann, Winkelmann u. a. **zur Er-  
leichterung der Anschaffung**  
gegen bequeme Monats- oder Quartals-  
raten von (258)

**Hermann Meusser, Buchhandlung**  
Berlin W 57/9, Potsdamer Strasse 75



# DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zehnter Jahrgang.

20. Januar 1922.

Heft 3.

## Julius von Hann.

Von R. Süring, Potsdam.

Am 1. Oktober 1921 ist der Großmeister der meteorologischen Wissenschaft, Hofrat *Julius von Hann* im Alter von 82½ Jahren in Wien gestorben. *Hann* hat sich das Ansehen, welches er bei den Meteorologen der ganzen Welt genoß und den Ruhm, welcher ihn umstrahlte, nicht durch bahnbrechende Neuerungen oder Entdeckungen universeller Natur erworben, sondern ausschließlich durch stille, unermüdliche und selbstlose Forscherarbeit. Glänzende Geistesgaben haben diese Arbeit zu den schönsten Erfolgen geführt: scharfes Urteil für den Unterschied zwischen wesentlich und nebensächlich, physikalisches Verständnis für die Naturvorgänge, außergewöhnliche Gedächtniskraft, rücksichtslose Selbstkritik und milde Beurteilung der Fehler anderer. Dazu kam ein erstaunlicher Fleiß, der auch nicht vor den einfachsten und langweiligsten Rechenarbeiten Halt machte.

Das Leitmotiv in *Hanns* Arbeiten ist bald erkannt: zuerst gründliches Studium der tatsächlichen Naturerscheinung, dann Erklärung der wichtigsten Ergebnisse auf physikalischer Grundlage, schließlich unausgesetztes Nachprüfen der gewonnenen Vorstellungen an der Natur und dabei stetige Erweiterung der allgemeinen Gesichtspunkte. Das Nachprüfen war für *Hann* die Hauptsache; ihm verdankt er einen großen Teil seiner Erfolge. Schon in einer seiner ersten Arbeiten<sup>1)</sup> kennzeichnet er selbst diese Methode, indem er sagt: „Nie versagt die Natur auf unermüdlich an sie gerichtete Fragen eine Antwort, wie oft dieselbe auch aller Erwartung zuwider laufen mag; ganz gegen den Goethe-Faustischen Ausspruch enthält sie nie freiwillig ihre Geheimnisse.“ Durch diese Arbeitsweise erklärt sich auch *Hanns* gleichmäßiges Interesse für Klimatologie und Meteorologie. Das beste Laboratorium zur Prüfung neuer meteorologischer Anschauungen ist die Natur selbst, und zwar die Natur in verschiedenen Klimagürteln; die von *Hann* gesammelten Klimadaten gaben vielfach das Rüstzeug zur Verteidigung seiner Theorien ab. Noch in einer seiner letzten Mitteilungen<sup>2)</sup> hat er davor gewarnt, die in Zyklonen auftretenden Sturmgeschwindigkeiten nur auf Grund von Beobachtungen in höheren Breiten zu erklären; er wies auf die ganz anders gearteten tropischen Zyklonen hin und schrieb: „Nur durch die Bil-

dung der großen Wirbel, welche große Luftmassen in sich aufnehmen, wird (hier) das Auftreten so gewaltiger Windstärken erklärlich.“

Die Liebe zur Natur hat *Hann* zum Meteorologen gemacht. Im Alpenvorland von Oberösterreich geboren (am 23. März 1839 auf Schloß Haus bei Linz) und auf dem Gymnasium zu Kremsmünster erzogen, mit guter Gelegenheit zur Wetterbeobachtung, regten Wolken- und Gewitterbildungen schon den Knaben zum Nachdenken an. Seine beiden ersten Veröffentlichungen<sup>3)</sup> sind reife Früchte seiner früh entwickelten Beobachtungsgabe, und wenn einst die physikalischen Grundlagen der Gewitterbildung weiter ausgebaut sein werden, wird man *Hanns* Beobachtungen zur Prüfung der Theorie gut verwenden können.

*Hanns* Name wurde zuerst allgemein bekannt durch seine Einmischung in die Streitfrage über die Entstehung des Föhnwindes. Zu Anfang der sechziger Jahre standen sich zwei Anschauungen über den Ursprung des Alpenföhns schroff gegenüber. Die eine — namentlich von Schweizer Gelehrten vertreten — erklärte den Föhn für einen heißen afrikanischen Wüstenwind, die andere (*Dove*) behauptete: Europa wird nicht durch die Sahara geheizt, sondern es ist der Kondensator für das Karaibische Meer. *Hann* zeigte, daß beide Ansichten falsch sind und löste die Streitfrage dadurch, daß er drei neue Gesichtspunkte hervorhob. Erstens: auch Grönland hat einen Föhn; horizontale Zufuhr warmer Luft ist also nur ein nebensächliches Moment, zweitens: nicht die hohe Temperatur, sondern die relative Trockenheit ist das charakteristische Merkmal des Föhns, und diese hängt nur von der Vertikalbewegung ab, drittens (erst 1882 hinzugefügt): für die ersten Föhnstöße ist nicht Kondensationswärme, entstanden durch Aufsteigen feuchter Luft an der Luvseite der Berge, nötig, sondern es genügt Kompression. Da *Hann* auch den mechanischen Vorgang beim Herabkommen des Föhns zu erläutern versucht hat, so ist er als der Begründer der physikalischen Föhntheorie zu bezeichnen, wenn auch schon früher, zurückreichend bis *Espy* 1841, gelegentlich richtige Anschauungen über Einzelheiten der Thermodynamik absteigender Ströme und auch des Föhns selbst geäußert worden sind.

<sup>3)</sup> Die Nachmittagsgewitter in den Alpentälern. Mitt. des Alpenvereins I, Jahrg. 1863; Die Entstehung der Gewitter im Zusammenhang mit der Witterung. Programm der Schottenfelder Oberrealschule in Wien. 1865.

<sup>1)</sup> Über den „Ursprung“ der Gewitter. Zeitschr. f. Meteor. 2, S. 403, 1867.

<sup>2)</sup> Die Energie der Zyklonen. Met. Zeitschr. 38 (56). S. 115, 1921.

Die Bedeutung jener physikalischen Theorie hat schwerlich jemand besser erkannt als *Hann* selbst, in zahlreichen Arbeiten hat er sie für allgemeine Fragen des Luftaustausches ausgebaut. Dabei war es ein glücklicher Umstand, daß nahezu gleichzeitig auch der Mathematiker *Theodor Reye*, damals noch in Zürich, das Problem der aufsteigenden Luftbewegung nach den Grundsätzen der mechanischen Wärmetheorie neu bearbeitete und für gesättigt feuchte Luft erweiterte. *Hann* wurde offenbar dadurch angeregt, diese Fragen schärfer mathematisch zu fassen, als dies vorher in der Meteorologie üblich war. So entstand die prächtig klare Abhandlung: „Die Gesetze der Temperatur-Änderung in aufsteigenden Luftströmungen und einige der wichtigsten Folgerungen aus denselben“<sup>4)</sup>. Hier finden sich schon Andeutungen seiner dynamischen Theorie der Zyklonen, welche nun von ihm in zahlreichen Arbeiten weiter ausgebildet wurde, zu immer klareren Vorstellungen von dem Bau der Hoch- und Tiefdruckgebiete führte und schließlich in der berühmten Abhandlung „Das Luftdruck-Maximum vom November 1889 in Mittel-Europa nebst Bemerkungen über die Barometer-Maxima im Allgemeinen“<sup>5)</sup> die Feststellung ermöglichte, „daß bis zu Höhen von mindestens 4 bis 5 km hinauf die mittlere Temperatur des Luftkörpers im Zentrum einer Antizyklone höher sein kann (vielleicht sogar immer höher ist), als jene im Zentrum einer Zyklone“. Das war der Todesstoß für die alte Konvektionstheorie der Zyklonen. Heftige Angriffe, namentlich von amerikanischen Kollegen, z. B. von *Ferrel*, führten *Hann* zu weiteren schönen Arbeiten mit scharfsinniger Verwertung des Beobachtungsmaterials von Höhenstationen. In diesen Studien findet sich z. B. der später häufig erfolgreich verwertete Gedanke, aus den Druckunterschieden zwischen zwei verschiedenen Höhenlagen die Temperatur der zwischen ihnen liegenden Luftmasse zu berechnen. Es verdient besonders hervorgehoben zu werden, daß die von *Hann* gezogenen Schlußfolgerungen auch durch die neuesten Anschauungen über den Energieaustausch bei dem Zusammentreffen verschieden temperierter Luftströmungen höchstens in nebensächlichen Einzelheiten geändert werden.

Die bisher erwähnten Untersuchungen von *Hann* hängen eng zusammen mit der langen Reihe seiner Arbeiten, die die Meteorologie der Alpen betreffen. Das Studium des alpinen Klimas und der Änderung der meteorologischen Elemente mit der Höhe gehörten zu den Lieblingsbeschäftigungen von *Hann*. Hier konnte er sich auch auf eigene Beobachtungen und Erfahrungen stützen. Von den Ergebnissen seien nur erwähnt: seine Formel für die Abnahme des Wasserdampfgehalts mit der Höhe (1874), seine Theorie der

Berg- und Talwinde (1879), die Abhängigkeit der Temperaturabnahme mit der Höhe von den Witterungszuständen und ihre Unabhängigkeit von der geographischen Breite, die tägliche Winddrehung auf Berggipfeln und ihre Beziehung zu Schwingungen der Atmosphäre, die zusammenhängende Darstellung der Temperaturverhältnisse der österreichischen Alpenländer u. a. m. *Hanns* Anregung ist die Errichtung zahlreicher Höhenstationen zu danken, in erster Linie natürlich die der österreichischen Bergobservatorien auf dem Obir in den Karawanken (später Hann-Warte genannt) und auf dem Sonnblick (3100 m) in den Hohen Tauern. Der Sonnblick hat durch *Hanns* Bearbeitung der dortigen Aufzeichnungen Welt-ruf erlangt.

Von den zahlreichen in den Sitzungsberichten oder den Denkschriften der Wiener Akademie erschienenen *Hanns*chen Abhandlungen verdient eine Gruppe besonders hervorgehoben zu werden, nämlich die über den täglichen Gang des Luftdrucks. Mit unglaublichem Aufwand von Fleiß und Kritik hat er aus allen Teilen der Erde Luftdruckreihen zusammengestellt und mittels harmonischer Analyse in Teilwellen zerlegt. Diese Studien, welche erst 1919 abgeschlossen sind, haben die theoretischen Anschauungen von *W. Thomson* und *Margules*, wonach die periodischen Luftdruckschwankungen als thermisch bedingte Schwingungen der Gesamtlufthülle aufzufassen sind, wesentlich gefördert. *Hann* hat gezeigt, daß die ganztägige Druckperiode hauptsächlich von den örtlichen Verschiedenheiten, d. h. von der Unterlage abhängt, während die halb- und die drittel-tägige Schwankung fast nur eine Funktion der geographischen Breite sind, also universellen Charakter haben.

Aus der großen Zahl sonstiger Arbeiten, insbesondere der schier endlosen Reihe klimatischer Beiträge, mögen hier nur genannt werden die Untersuchungen über die Temperatur von Wien nach hundertjährigen Beobachtungen, über die Regenverhältnisse von Österreich, über Witterungsanomalien und deren Beziehungen an weit voneinander entfernten Orten, über Temperaturveränderlichkeit und interdiurne Temperaturänderungen, über die Temperaturverhältnisse der Tropenzone, über die Verteilung des Luftdrucks über Mittel- und Südeuropa und schließlich die Klimatographie von Niederösterreich (1904).

Zu zusammenfassenden Darstellungen hat sich *Hann* nie aus eigenem Antrieb entschlossen, obgleich sein ausgedehntes Wissen und eine glänzende Darstellungsgabe ihn dazu besonders geeignet machten, und der Erfolg der Bücher stets sehr groß war. In einem Sammelbande über Allgemeine Erdkunde erschien 1872 in erster, 1896 in fünfter Auflage eine kleine populäre Darstellung der Geophysik unter dem Titel „Die Erde als Weltkörper, ihre Atmosphäre und Hydrosphäre“. Durchaus originell war das zuerst 1883 erschienene „Handbuch der Klimatologie“,

<sup>4)</sup> Zeitschr. f. Meteor. 9, S. 321, 337, 1877.

<sup>5)</sup> Denkschriften der Wiener Ak. d. Wiss. 57, S. 401, 1890.



welches *Hann* auf Einladung seines Freundes Prof. *Friedrich Ratzel* für dessen „Bibliothek geographischer Handbücher“ geschrieben hat. Meist wird an dem Buch die Frische und Lebhaftigkeit der Darstellung gerühmt, welche dadurch entstanden ist, daß die geschickt und übersichtlich zusammengestellten Zahlenwerte und deren Diskussion ergänzt werden durch naturgetreue klimatologische Schilderungen von seiten der Reisenden oder Landeskundigen; wissenschaftlich höher ist wohl die Gründlichkeit und Zuverlässigkeit der allgemeinen und speziellen Klimadarstellung zu bewerten. In der dritten Auflage (1908) ist das Handbuch zu einem dreibändigen Werk geworden. Eine Ergänzung hierzu bildet *Hanns* „Atlas der Meteorologie“, der 1887 als ein Teil von „Berghaus' Physikalischem Atlas“ erschien.

Verhältnismäßig spät entschloß sich *Hann* — diesmal auf die Bitten seines Verlegers Chr. Herm. Tauchnitz — zur Abfassung eines streng wissenschaftlichen Lehrbuches der Meteorologie (1901). Nach drei Jahren war die erste Auflage des 50 Bogen starken Werkes bereits vergriffen. Es war der österreichischen Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik zu ihrem 50jährigen Bestande gewidmet, und der damalige Direktor der Anstalt Prof. *J. M. Pernter* begrüßte die Gabe u. a. mit den Worten: „Es ist die größte und gründlichste Darstellung des gegenwärtigen Wissens auf dem Gebiete der Meteorologie und wird wie die ‚Klimatologie‘ auf lange hinaus das klassische und maßgebende Werk in der Meteorologie bleiben.“

Ein wesentliches Stück der Lebensarbeit von *Hann* bildete schließlich die Redaktion der Meteorologischen Zeitschrift. Von der Gründung der Zeitschrift (1866) bis 1876 waren — mit Ausnahme des zweiten Jahrganges, den *Jelinek* allein herausgab — *Jelinek* und *Hann* Redakteure, dann bis 1885 *Hann* allein und von da ab, nach der Verschmelzung der Organe der Österreichischen und der Deutschen Meteorologischen Gesellschaften, bis Ende 1920 *Hann* zusammen mit dem jeweilig von der deutschen Gesellschaft gestellten Redakteur, aber *Hann* war immer die Seele der Zeitschrift. Mit staunenswertem Fleiß sorgte er dafür, daß jedes Heft abwechslungsreich und daß auch ausländische Literatur möglichst vollständig berücksichtigt wurde. Die rund 1500 Beiträge, welche er selbst in den 54 Jahren seiner Redaktionstätigkeit beisteuerte, betreffen — teils selbständig, teils kritisch referierend — alle Zweige der Meteorologie. Jeden einzelnen Brief beantwortete und schrieb er persönlich, meist sehr ausführlich, vielfach mit originellen oder humorvollen Zwischenbemerkungen. Die Meteorologische Zeitschrift und *Hann* war Vielen ein untrennbarer Begriff, und manche Ehrungen sind ihm von seiten seiner Mitarbeiter dargebracht worden. Zur Feier seines vierzigjährigen Redaktionsjubiläums erschien ein beson-

derer „Hann-Band“ der Zeitschrift, herausgegeben von *Pernter* und *Hellmann*; bei dem fünfzigjährigen Jubiläum im Kriegsjahre 1916 mußte man sich mit einer Adresse begnügen. Der Abschied von der Zeitschrift scheint *Hann* besonders schwer geworden zu sein.

Es ist begreiflich, daß in einem so arbeitsfreudigen Leben kein Platz für andere als wissenschaftliche Betätigung übrig blieb. *Hanns* Lebensgang war daher auch äußerlich sehr gleichförmig. Nach Abschluß seiner Studien (1864) war er kurze Zeit Oberlehrer in Wien und Linz, trat 1868 in die Wiener Meteorologische Zentralanstalt ein und habilitierte sich im gleichen Jahre an der Universität. 1873 wurde er zum außerordentlichen Professor für physikalische Geographie und zum korrespondierenden Mitglied der Wiener Akademie der Wissenschaften ernannt. 1877 wurde er wirkliches Mitglied dieser Akademie, ordentlicher Professor an der Universität und Direktor der Meteorologischen Zentralanstalt. In dieser Stellung hat er trotz sehr geringer staatlicher Mittel viel für Vergrößerung des Stationsnetzes, Gründung von Bergobservatorien, Verbesserung der Beobachtungsmethoden u. dgl. getan, aber der Verkehr mit den Behörden war ihm wenig sympathisch, und schon 1897 legte er sein Direktorialamt nieder, um sich ausschließlich schriftstellerischer und akademischer Tätigkeit zu widmen. Die jetzige hochangesehene österreichische Meteorologenschule verdankt ihren guten Ruf zum großen Teil ihrem Lehrer *Hann*.

Im äußern wissenschaftlichen und persönlichen Verkehr hat *Hann* sich stets im Hintergrund gehalten. Trotzdem wurden ihm natürlich zahlreiche und seltene Auszeichnungen zuteil, z. B. 1898 die Stiftung einer goldenen Hann-Medaille der Österreichischen Gesellschaft für Meteorologie und Verleihung des ersten Exemplars an ihn selbst, 1905 Ernennung zum Ehrenpräsidenten der Internationalen Meteorologischen Direktorenkonferenz, 1906 Überreichung des Hann-Bandes der Meteorologischen Zeitschrift. 1919 (aus Anlaß seines achtzigsten Geburtstages) Stiftung einer „Hann-Widmung“ aus Spenden zahlreicher in- und ausländischer Freunde und Fachgenossen. *Hann* hat auffallend selten Reisen in das Ausland unternommen; nur die Schweiz besuchte er häufig, und er nahm dann gern an den Schweizer Naturforscherversammlungen teil, während ihm die deutschen Naturforschertage — wie er mir einmal schrieb — zu geräuschvoll waren. Der Wirkungsbereich, in dem *Hann* sich behaglich fühlte, war seine Familie und sein Arbeitszimmer auf der Meteorologischen Zentralanstalt, das er bis vor etwa drei Jahren fast täglich besuchte. Außerhalb Wiens haben wenige Meteorologen *Hann* menschlich näher gestanden; diese wenigen haben aber außer der Gewißheit, daß *Hann* durch seine Werke unsterblich geworden ist, das tröstliche Bewußtsein, daß er ein glückliches Leben gehabt hat. Wie seine Gattin

schrieb, hat er in der letzten Zeit, als körperliche Beschwerden ihm Lesen und Schreiben unmöglich machten und nur noch sein reger Geist arbeiten konnte, oft gesagt: „Es ist vorbei, aber es war schön.“ Das Wort ist charakteristisch für den Menschen und Gelehrten *Hann*.

## Über humorale Übertragbarkeit der Herznervenzirkung<sup>1)</sup>.

Von O. Loewi, Graz.

Zu den charakteristischen Merkmalen der lebendigen Substanz gehört bekanntlich die Erregbarkeit d. h. die Fähigkeit auf Reize mit Zuo- oder Abnahme der spezifischen Leistung zu reagieren. Die Kenntnis der Vorgänge, die zwischen Reiz und Leistung liegen, ist derzeit noch sehr lückenhaft. In der folgenden Darstellung dieser Zwischenvorgänge will ich mich auf die Richtung beschränken, in der die von mir gefundenen neuen Tatsachen sich bewegen. Diese beziehen sich auf die Wirkung der Nervenreizung. Es ist aber notwendig, um die Einzelergebnisse in den Rahmen der Gesamtfrage einfügen zu können, einiges Allgemeine vorzuschicken.

Unter Reizen ganz allgemein können wir jede Beeinflussung der Lebensbedingungen verstehen. Wenn wir aus bestimmten Gründen zunächst von rein physikalischen Reizen absehen, bleiben als für Zustand und Leistung wesentliche die chemischen und nervösen. Von den chemischen Substanzen, die — in verhältnismäßig sehr kleinen Konzentrationen wirksame — physiologische Reize darstellen, seien in diesem Zusammenhang nur die sog. Hormone genannt. Unter Hormonen im engeren Sinne verstehen wir bekanntlich Produkte gewisser *Drüsen*, die auf dem Blutweg auf andere Organe wirken. Halten wir diese Fernwirkung für das Maßgebliche, so können wir zu Hormonen im weiteren Sinn auch gewisse *Stoffwechselprodukte* der Organtätigkeit wie die  $\text{CO}_2$  rechnen, die sowohl am Entstehungsort wie auch anderswo wirken. Die Hormone im engeren Sinn, mindestens einige wichtige oder, besser gesagt, alle, über deren Bildung bzw. Abscheidung wir etwas wissen, wie das Schilddrüsen- und Nebennierenhormon, werden auf Nervenreiz hin gebildet bzw. abgegeben.

Im Anschluß an diese Erkenntnis hat sich herausgestellt, daß eine Reihe von Erscheinungen, die man früher als durch unmittelbare Nervenzirkung bedingt betrachtete, nur teilweise unmittelbare Nervenzirkungen, teilweise aber unmittelbare Hormonzirkungen sind. Mit solchen, immer die Reizung von Nervenkomplexen betreffenden Fällen haben wir uns hier nicht zu beschäftigen. Wir fragen vielmehr nach dem *Mechanismus der Wirkung der Einzelnerven, die vom Zentralnervensystem direkt zu einem Er-*

*folgsorgan ziehen*. Wie kommt der Erfolg ihrer Reizung zustande?

Die nächste Folge der Nervenzirkung, auf welchem Weg immer sie vorgenommen wird, ist etwas, was man als *fortschreitende „Erregung“* des Nerven bezeichnet. Ihr Ausdruck, und zwar bisher der einzig bekannte, ist der sog. Aktionsstrom oder die negative Schwankung. Die Entstehung dieses Stromes wird heute ganz allgemein auf Änderungen nicht chemischer sondern physikalisch-chemischer Natur als Folge der Reizung zurückgeführt, und zwar auf *fortschreitende Änderungen der Ionenkonzentration* an den Oberflächen, wodurch eine stromerzeugende *Potentialdifferenz* zwischen erregten und ruhenden Teilen des Nerven gesetzt wird. Die gleiche Erregung wie am Nerven tritt als nächste Folge der Reizung auch am Erfolgsorgan ein und zwar gleichgültig, ob die Reizung vom Nerven her oder direkt erfolgt. Diese primäre Erregung ist in hohem Maße unabhängig von der Leistung des Erfolgsorgans: *beim Nerven* stellt sie ohnehin die *einzige Leistung* dar. Aber auch beim Erfolgsorgan geht sie der Leistung voraus, fällt z. B. beim quergestreiften Muskel in seine Latenzzeit und tritt auch auf, wenn die *mechanische* Leistung aus irgendwelchen Gründen ausgeschaltet ist. Das *Elektrogramm* des infolge calciumfreier Ernährung stillgestellten Herzens unterscheidet sich nicht merklich von dem des normal schlagenden. Vergiftet man einen Muskel mit Veratrin, so erzeugt seine Reizung eine höchst eigentümliche Zuckung, indem sich an die normale rasche, abgesetzt oder mit ihr verschmelzend, eine langsame anfügt. Wird der Muskel rasch nacheinander gereizt, so tritt nur noch die normale rasche Zuckung auf: dabei zeigt aber das *Elektrogramm* noch immer die typische Veratrinkurve. Es ist also nicht Ausdruck der *mechanischen* Leistung, sondern des Erregungsprozesses, und daher ist es im höchsten Maße wahrscheinlich, daß die primäre Erregung des Erfolgsorgans artgleich der des Nerven, d. h. ebenfalls physikalisch-chemischer Natur ist. Während, wie wir eben sahen, die Leistung des *Nerven* auf die *fortschreitende Erregung* beschränkt ist, schließt sich beim *Erfolgsorgan* an die Erregung eine *weitere* Leistung an, und es fragt sich nun, wie die Erregung zu dieser Leistung führen kann. Diese Frage ist bis jetzt ungelöst. Wir haben bis jetzt nur Kenntnis von Teilvorgängen infolge Erregung des quergestreiften Muskels.

Es wird heute ziemlich allgemein angenommen, daß die Kontraktion des quergestreiften Muskels in letzter Linie die Folge des Auftretens von Milchsäure ist. Die Milchsäure ihrerseits soll aus einer Vorstufe, dem sog. Lactacidogen, d. i. Hexosephosphorsäure, abgespalten werden. Die Erregung des Muskels führt also zur *Lactacidogenspaltung*. Wodurch aber wird diese bewirkt? Ist es die durch die Erregung gesetzte physikalisch-chemische Milieuänderung.

<sup>1)</sup> Nach einem Vortrag in der Biologischen Gesellschaft zu Wien.



die direkt die Bedingung für die Spaltung des Lactacidogens darstellt, etwa durch Änderung des Ionengleichgewichts, oder ist die Erregung indirekt wirksam, etwa durch Freimachung eines Ferments?

Bei dieser Sachlage schien es mir wünschenswert, an einem vielleicht geeigneteren Objekt, als es der quergestreifte Muskel darstellt, der Frage nach den Vorgängen, die zwischen Erregung des Nerven und der Reaktion des Endorganes liegen, näher zu treten. Dabei war ich mir dessen bewußt, daß der Mechanismus der Wirkung verschieden funktionierender Nerven, z. B. funktionsauslösender und funktionsregulierender nicht notwendigerweise der gleiche sein muß.

Bekanntlich gibt es *chemische Stoffe*, die fast identisch wirken, wie die *Reizung* bestimmter Nerven; so wirkt am Herzen z. B. Muscarin und Pilocarpin so wie Vagusreizung, Adrenalin so wie sympathische Acceleransreizung. Nun kommen im Organismus nicht nur Adrenalin und adrenalinartige sondern auch nach dem Typus des Muscarin wirkende vagusreizende Substanzen vor wie Cholin und seine Verwandten. Dies brachte mich auf den Gedanken, ob nicht als *Folge der Reizung* der entsprechenden Nerven solche oder ähnliche Substanzen *gebildet oder befreit* würden und erst *durch ihre Vermittlung* der Erfolg der Nervenreizung zustandekäme, also gewissermaßen durch lokal wirkende Hormone.

Als Objekt der Untersuchung wählte ich das Kaltblüterherz.

Ich ging derart vor, daß das Herz samt am Sinus hängenden Vagosympathicusstamm herausgeschnitten, an einer Kanüle befestigt und diese mit  $\frac{1}{2}$  ccm Ringerlösung gefüllt wurde.

Zunächst untersuchte ich, ob etwa Ringerlösung, die längere Zeit im normalschlagenden Herzen belassen worden war, irgendwie die Herztätigkeit ändert. Das ist beim Versuch am frischen Herzen nie der Fall. Nunmehr wurde der Vagus längere Zeit, gewöhnlich 20 Minuten lang, gereizt. Ließ ich danach das Herz in Ringerlösung sich erholen und ersetzte nunmehr diese durch den Inhalt der Vagusreizperiode, so trat *eine beträchtliche negativ inotrope<sup>1)</sup> Wirkung auf die Ventrikelpulse ein*. Bekanntlich wird die Wirkung der Vagusreizung und der Vagusgifte, und zwar sie ausschließlich, durch Atropin prompt behoben. Handelt es sich bei der negativ inotropen Substanz um eine vagusartig wirkende, müßte die negativ inotrope Wirkung ebenfalls Atropin weichen. Dies trifft in der Tat zu: *wird während der negativen inotropen Wirkung eine Spur Atropin zugegeben, so erhebt sich sofort der Puls auf oder etwas über die frühere Größe hinaus. Damit ist bewiesen, daß während und nur während der Vagusreizung ein Stoff mit Vaguswirk-*

*samkeit in die Füllflüssigkeit abgeschieden wird.*

Es war nun von größtem Interesse, festzustellen, ob bei Acceleransreizung Stoffe mit entgegengesetzter d. h. fördernder Wirkung abgeschieden würden. Derartige Versuche habe ich nur in geringer Zahl bei Fröschen ausgeführt, weil auch nach Atropinisierung, also nach Ausschaltung der hemmenden Vaguswirkung, Vagusacceleransreizung bekanntlich nur selten zu beträchtlicher Pulsvergrößerung führt. Zu den meisten diesbezüglichen Versuchen dienten Kröten, weil bei ihnen bei Reizung des gemeinsamen Stammes in den ersten Sommermonaten hauptsächlich Acceleranswirkung eintritt; *der Inhalt steigert regelmäßig die Pulsgröße ganz mächtig*. Mit fortschreitendem Sommer läßt sich auch bei der Kröte bei Stammreizung mehr und mehr die hemmende Vaguswirkung erzielen. Im Verlauf der Reizung bricht aber immer wieder die Acceleranswirkung durch. *Die Prüfung des Herzhaltens ergibt ein getreues Abbild des Nacheinander dieser Wirkung.*

Durch diese Versuche ist bewiesen, daß bei Vagusreizung Stoffe mit Vagus-, bei Acceleransreizung solche mit Acceleranswirkung *gebildet* werden und wahrscheinlich nur zum geringsten Teil, aber deutlich physiologisch nachweisbar, in die Füllflüssigkeit übergehen.

Es kam nun alles darauf an festzustellen, ob und welche Bedeutung die nachgewiesenen Stoffe für das Zustandekommen der normalen Vagus- bzw. Acceleransreizwirkung haben, und zwar war die wichtigste Frage die, *ob die Stoffe direkt unter dem Einfluß der Nervenreizung gebildet werden* oder aber sekundär als *Produkte* etwa der infolge der Vaguswirkung eintretenden *Herzruhe* bzw. der infolge Acceleranswirkung eintretenden *gesteigerten Herztätigkeit*. Trifft ersteres zu, dann haben wir anzunehmen, daß die Stoffe die Erscheinungen, zu denen die Nervenreizung führt, auslösen; trifft letzteres zu, dann könnten sie nur die Bedeutung haben, die auf anderem Weg ausgelösten Erscheinungen zu verstärken.

Wenn anders das Auftreten des Vagusstoffes nur Folge der Herzruhe ist, sollte es auch in anderen Fällen von Herzruhe zu beobachten sein; ich habe in vier Versuchen die I. Stanniussche Ligatur angelegt und den Inhalt eine ganze Stunde im Herzen belassen. Trotz absoluter Herzruhe während dieser Zeit erwies er sich als ebenso unwirksam wie der bei normaler Herztätigkeit gewonnene; Herzruhe schlechthin bedingt also das Auftreten des Vagusstoffes nicht.

Aber die angestrebte Entscheidung, ob die Stoffe primär im Anschluß an den Nervreiz oder sekundär als Produkte der geänderten Herzmechanik gebildet werden, wurde auf ganz andere Weise und zwar eindeutig getroffen.

Es wurde bereits erwähnt, daß bei Vagusreizung von Kröten mitunter der Erfolg zwischen Hemmung und Förderung wechselte und daß

<sup>1)</sup> Die Kraft der Herzkontraktionen verändernd.

dann der Inhalt ebenfalls erst hemmte, dann förderte. Diese Inhaltswirkung trat aber nicht nur ein bei Reizung mit gemischtem Erfolg, sondern mitunter auch bei 20 Minuten anhaltendem rein hemmenden. Es gelang mir in vier Versuchen, durch vorsichtig abgestufte Reizung des Vagus-accelerans bei der Kröte zu verhindern, daß auch nur ein einziger Acceleranspuls während der Dauer der Reizung durchbrach. Noch während der Hemmung wurde dann der Inhalt entnommen; seine Prüfung ergab nach kurzem hemmendem Vorschlag eine ausgesprochene Förderungswirkung. Damit ist aber *zwingend bewiesen*, daß nicht die Steigerung der mechanischen Herz-tätigkeit, sondern die durch die Acceleransreizung gesetzte (während der Stammreizung aber durch die Vagusreizung *in ihrer Auswirkung gehemmte*) *Erregung* als solche die *Produktion des Stoffes* veranlaßt, daß diese mit anderen Worten dem mechanischen Erfolg der Reizung vorgeht.

Nun kommen wir zu der brennenden Frage nach der *Natur der Stoffe*. Ich schicke, um nicht zu große Erwartungen zu wecken, voraus, daß ich bis jetzt nur ausschließen kann, um was es sich nicht handelt; ich beginne mit dem Vagusstoff.

Die Tatsache, daß die Wirkung des Vagusstoffes durch Atropin prompt behoben wird, engt die Zahl der in Betracht kommenden Körper stark ein und lenkt die Untersuchung in ganz bestimmte Richtung. Von den bisher bekannten im Organismus vorkommenden Körpern kommen eigentlich nur Cholin und dessen Verwandte in Betracht. Cholin ist es nicht.

Was den Acceleransstoff anbetrifft, so kann ich nur soviel sagen, daß es sich bei ihm ebenfalls um einen organischen Stoff handelt.

Soweit sind die Untersuchungen bis jetzt gediehen.

Welche Vorstellungen immer man sich von den Vorgängen, die zwischen Reizung des Nerven und deren letztem Erfolg liegen, machte, daß chemische Prozesse dazwischen liegen, steht längst außer Frage, weiß man doch, daß die Endleistung Folge chemischer Umsetzung ist, z. B. die Kontraktion des quergestreiften Muskels Folge der Milchsäurebildung. Es kann auch die mechanische Endleistung ganz oder fast ganz fehlen bei nicht oder kaum geschädigten chemischen Prozessen; so verbraucht das infolge Ca-Mangels stillgestellte Herz kaum weniger Traubenzucker als das normal schlagende und das narkotikavergiftete bei minimaler Arbeitsleistung relativ sehr viel O<sub>2</sub>. Alle diese chemischen Vorgänge sind aber bereits Teile der eigentlichen Leistung; Milchsäurebildung, Zucker- und O<sub>2</sub>-Verbrauch sind der integrierende chemische Teil der Muskelaktion selbst, gleichgültig, ob die mechanische Aktion ihr folgt oder, wie in den zuletzt angegebenen Fällen, infolge Unfähigkeit chemische in mechanische Energie umzusetzen,

fehlt. Bei unseren Befunden handelt es sich um etwas ganz anderes; da führt der Nervenreiz zur Bildung chemischer Stoffe, die mit der Muskelaktion selbst gar nichts zu tun haben, d. h. keinen Teil von ihr bilden; vielmehr hemmen oder fördern sie katalysatorartig die bestehende Aktion.

Der Gedanke, daß der Nerv zur Bildung von Substanzen führt, die nach Art der genannten am gleichen Organ hormonartig die Aktion regulieren oder sogar auslösen, ist nicht neu. So ist Demoor, dem es gelang, durch Zusatz von Speichel mit Ringerlösung durchspülte Speicheldrüsen zur Sekretion zu bringen, der Meinung, daß die Nervenreizung zur Produktion einer Substanz führe, die sekretinartig wirke und mit dem Speichel abfließe. Koch erörtert, ob nicht das Gastrin durch die sekretorischen Magennerven in Freiheit gesetzt wird und seinerseits erst die Sekretion anrege. Schließlich hält es auch Bayliss in seinen tiefeschürfenden und klärenden „Principles of general Physiology“ für möglich, daß der Nerv auf dem Umweg über die Bildung chemischer Substanzen wirke. Es hat nur bisher der experimentelle Nachweis für die Richtigkeit all dieser Annahmen gefehlt. Dieser dürfte nun durch meine Versuche erbracht sein. Es ist wohl anzunehmen, daß, was für die Herznerven, auch mindestens für die Nerven der übrigen vegetativen Organe gilt.

Dabei brauchen natürlich nicht immer die gleichen chemischen Substanzen gebildet zu werden. Ja, es müßte sogar u. U. die Bildung verschiedener angenommen werden. Das geht z. B. aus Folgendem hervor.

Am Herzen wirkt Pilocarpin wie Vagusreizung, und beide Wirkungen werden durch Atropin behoben. An Rektum und Blase wirkt Pilocarpin wie Pelvicusreizung; durch Atropin wird aber nur der Pilocarpin-, nicht der Pelvicusreizerfolg aufgehoben. Es kann also der Pelvicus nicht oder nicht ausschließlich durch die Bildung eines Vagusgiftes wirksam sein. Die Annahme, daß bei Reizung des Pelvicus andere chemische Stoffe produziert werden als bei Reizung des Vagus, hat ebensoviel für und gegen sich, wie jeder andere Versuch, die Unwirksamkeit des Atropins gerade der Pelvicusreizung gegenüber zu erklären. Persönlich habe ich die Vorstellung, daß die Erregung aller Nerven und vielleicht auch andere Erregungen ganz oder teilweise auf dem Umweg über die Bildung derartiger chemischer Substanzen wirken. Zu dieser Überzeugung führen mich außer den im Tierreich erhobenen Befunden über Hormonwirkung und den heute vorgetragenen vor allem die neuesten Befunde der Pflanzenphysiologen.

Auch bei der Pflanze führt bekanntlich Reizung eines Teiles oft zur Änderung in einem anderen. Da Nerven fehlen, hat man in neuerer Zeit auch an die Bildung chemischer Stoffe als Überträger gedacht. Der Nachweis ist aber erst in allerletzter Zeit erbracht worden. So hat Paal in einer sehr sorgfältig durchgeführten



Untersuchung folgendes gezeigt: er schneidet die Spitze von Weizenkeimlingen ab und setzt sie wieder auf, aber nicht direkt, sondern unter Zwischenschlebung einer Gelatineschicht; nunmehr wird ausschließlich die Spitze belichtet, aber die phototrope Krümmung setzt nach einiger Zeit auch unterhalb der Schnittfläche beim Rest der Pflanze ein.

Noch eleganter scheinen mir die aus dem Jahre 1916 stammenden Versuche von Ricca an *Mimosa pudica* zu sein. Ricca schneidet eine Sproßspitze ab und verbindet Spitze und Stumpf mittelst einer wassergefüllten Glasröhre. Reizt er nunmehr den Stumpf, sei es intensiv durch Brennen oder auch durch Stoß, so klappt nach kurzer Zeit die Spitze zusammen, und zwar in dem Moment, in dem eine nach der Stumpfreizung am Stumpfe ausgegetretene grünliche Flüssigkeit die Spitze erreicht. Oder er stellt einen Mimosenzweig in ein Wasserextrakt gereizter Teile; die Blätter klappen zusammen.

Die Analogie dieser Befunde zu den unseren ist eine mehr als äußerliche. Auch die Pflanze reagiert auf Reizung einer Stelle mit einer fortgeleiteten Erregung, die in einer negativen elektrischen Schwankung sich ausdrückt. Wie beim Tier geht auch bei der Pflanze diese Erregung dem Bewegungseffekt voraus. Und nun hat Ricca gezeigt, daß unmittelbar im Anschluß an diese Erregung sich ein Stoff bildet, der seinerseits das Bewegungsphänomen verursacht. Die Tatsache, daß dieser Stoff ebenso wie der von mir beim Herzen nachgewiesene nichts mit dem chemischen bzw. physikalisch-chemischen Teil der Bewegungsaktion selbst zu tun hat und nicht wie die Hormone im engeren Sinn in eigenen Zellen gebildet wird, sondern da, wo gerade gereizt wird, ist eines der wesentlichsten Argumente für meine Auffassung, daß die Bildung aktionsauslösender bzw. regulierender Stoffe im direkten Anschluß an die Nervenreizung am Ort des Reizeingriffs auch beim Tier die Regel sein dürfte.

## Besprechungen.

Lieske, Rudolf, *Morphologie und Biologie der Strahlenpilze (Aktinomyceten)*. Berlin, Gebr. Borntraeger, 1921. IX, 292 S., 112 Abbildungen im Text und 4 farbige Tafeln. Preis M. 120,—.

Die vorliegende Monographie über die Strahlenpilze wird sowohl von allen bakteriologisch arbeitenden Medizinern wie Botanikern aufs lebhafteste begrüßt werden, und zwar deshalb, weil kaum eine Gruppe der Mikroorganismen so viele Unklarheiten und Widersprüche aufweist wie gerade die Strahlenpilze. Das ist ja auch der Grund gewesen, weshalb der Autor die gewaltige, aber sehr dankbare Arbeit auf sich genommen hat, diese Gruppe gründlich zu durchleuchten und Ordnung in sie hineinzubringen. Wir stehen nun zweifellos auf einer viel festeren Basis, da vor allen Dingen die botanische Stellung der Strahlenpilze, die so vielfach verkannt wurde, eine Klarstellung erfahren hat. Aber nicht nur das. Der Verf. hat mit allen alten Anschauungen gründlich

aufgeräumt, indem er überall dort, wo es sich um morphologische, physiologische oder biologische Streitigkeiten und Unsicherheiten handelte, eigene genaue Nachuntersuchungen angestellt und die betreffenden Fragen bejaht oder endgültig verneint, und zwar mit großer Sachkenntnis und aner kennenswerter Logik. Es spricht der Erfahrene, der eben nicht nur den einen oder anderen Stamm züchtete, sondern auch die nahe verwandten Gruppen durch jahrelange Beobachtung genau kennen lernte. Lieske hat alle die unter den Namen *Aktinomycetes*, *Leptothrix*, *Cladothrix*, *Oospora*, *Discomycetes*, *Nocardia*, *Oidium*, *Streptothrix* gehenden Strahlenpilzbeschreibungen einer strengen Kritik unterzogen, hat die Originalkulturen geprüft, sodann aus mensch- und tierpathologischen Fällen und aus der engeren und weiteren Umgebung der Menschen die verschiedensten Strahlenpilze isoliert und so im ganzen über 100 Stämme genau untersucht. Seine Ergebnisse legt er in 5 großen Abschnitten nieder: 1. Allgemeines über die Strahlenpilze; 2. Die morphologischen; 3. Die physiologischen Eigenschaften der Strahlenpilze; 4. Die Strahlenpilze als Krankheitserreger bei Menschen und Tieren und 5. Strahlenpilze und höhere Pflanzen. Die Aktinomyceten bilden eine selbständige Gruppe, die zwischen Bakterien und Schimmelpilzen steht, aber den Bakterien verwandter ist. Die vielfach angeführte Einteilung Petruschky's, der die Strahlenpilze zu den Hyphomyceten (Pilzen) rechnet und sie mit den Gattungen *Streptothrix*, *Cladothrix* und *Leptothrix* unter dem Namen *Trichomyceten* vereinigt, entbehrt jeder botanischen Grundlage. Mit den Gattungen *Leptothrix* und *Cladothrix* sind die Aktinomyceten in keiner Weise verwandt und *Aktinomycetes* und *Streptothrix* sind ein und dasselbe.

Als charakteristische Merkmale für die Aktinomyceten kommen in Frage: die Bakteriendicke, die Grampositivität, die Sporenbildung, die Klarheit der Bouillonkulturen, die festen harten Kolonien und der Erdgeruch. Freilich ist der Artbegriff unter Umständen schwer festzustellen, da die weitgehendsten Variationen vorkommen. So weist der Verf. z. B. darauf hin, daß eine ganz scharfe Trennung zwischen *Aktinomykose* und *Tuberkulose* im botanischen Sinne (übrigens gelegentlich auch pathologisch-anatomisch) kaum möglich sei. Die strittige Frage der Sporen wird dahin geklärt, daß Aktinomyceten tatsächlich Sporen bilden, aber nicht etwa wie die sporentragenden Bakterien, sondern sie entstehen in den Luft-hyphen (die den kreideweißen Belag auf den Kolonien hervorbringen), indem das Protoplasma sich differenziert und sich dann kugelig abschnürt. Sie sind nur wenig resistenter als die Fäden selbst und färben sich nach Gram. Sehr verschiedene Deutungen hatten die Kolben erfahren, die in den im menschlichen und tierischen Körper auftretenden sog. Drusen entstehen. Vielfach hielt man die Kolben für Sporangien. Das ist aber keineswegs richtig. Die ersten Anfänge einer Druse bestehen stets aus einem kolbenlosen Fadengewirr. Erst später entwickelt sich am Ende der Fäden eine gallertige Masse, die als Reaktionsprodukt des Organismus auf das Strahlenpilzmycel aufgefaßt werden muß. Die Kolben sind demnach nur Degenerationserscheinungen der Fäden. Den Beweis dafür kann man darin sehen, daß alte Drusen, die nur noch aus Kolben bestehen, in der Kultur nicht mehr angehen, also abgestorben sind. Die Bildung der sog. Hefenringe, d. h. das abwechselnde Auftreten von sporenlosen und Sporenzonen führt Verf. in erster Linie auf einen erblichen Faktor zurück, äußere Ein-

flüsse kommen erst sekundär in Frage. Es können übrigens die Ringe auch bei ganz sporenlosen Stämmen auftreten.

In *pathologischen Fällen* finden sich sowohl *aerobe* wie *anaerobe* Stämme. Die aeroben werden gewöhnlich als „*Streptothrix*“ bezeichnet, eine Annahme, die aber unhaltbar ist, da auch aerobe Aktinomycespilze aus typischen Fällen isoliert wurden. Bei den aeroben Stämmen fehlen die *Körnchen* (Drusen) im Eiter meist, sind aber echte Drusen vorhanden, dann liegt fast regelmäßig der anaerobe Typus vor. Beim Tier entstehen bei weitem in den meisten Fällen geschwulstartige Neubildungen mit Drusen, die mehr auf die Infektionsstellen beschränkt sind, während beim Menschen in der Regel Abszeßbildungen auftreten, in denen vielfach Begleitbakterien, und zwar *Bact. fusiforme* und *Bact. comitans* zu finden sind. Diesen beiden Organismen schreibt *Lieske* für die Entstehung der Aktinomykose große Bedeutung zu. Die aeroben Arten zeigen gewöhnlich den langfädigen, die anaeroben den kurzfädigen Typus, eine Einteilung in zwei derartige Gruppen sei wegen der großen Variabilität jedoch nicht durchführbar. Es wird besonders darauf hingewiesen, daß in der Natur pathogene Stämme nicht aufzufinden sind, ebenso keine anaeroben. Wahrscheinlich würden diese Eigenschaften erst im menschlichen bzw. im Tierkörper erworben. Bei der Invasion der Aktinomycespilze in den Körper spielen *traumatische Faktoren* und *schlechte Zähne* wohl die Hauptrolle. Mit dem *serologischen Nachweis* der Aktinomykose sei nichts anzufangen, dagegen erweise sich der *Komplementbindungsversuch* als spezifisch.

Über die Stellung der Aktinomyceten zu den *höheren Pflanzen* äußert sich Verf. dahin, daß ihnen keine andere Bedeutung zukommt als den übrigen Bakterien. Durch Zerstörung N-haltigen Materials wird Ammoniak gebildet, der zur Förderung des Wachstums der Pflanzen beiträgt.

Von den Forschungsergebnissen konnte hier nur Einiges mitgeteilt werden. Das Buch ist aber voll von interessanten Einzelheiten, die die Aktinomykosefrage außerordentlich gefördert haben und Anregung zu weiteren Untersuchungen geben. Es ist ein Verdienst *Lieskes*, die gewaltige Literatur, von der allein 373 größere Arbeiten aufgeführt sind, in ausgiebigster Weise gesichtet und verarbeitet zu haben. Von dieser wertvollen Veröffentlichung werden alle Bakteriologen und Biologen den größten Nutzen haben.

R. O. Neumann, Bonn.

**Baer, W., Die Tachinen als Schmarotzer der schädlichen Insekten.** Berlin, P. Parey, 1921. VIII, 200 S. und 63 Abb. Preis M. 40,—.

Das Buch aus der Feder des bekannten Tachinenforschers will vor allem den praktisch arbeitenden Entomologen helfen, sich rasch einen Überblick über das bisher Bekannte zu verschaffen. Unter Verwendung der zahlreichen Einzelarbeiten hat Verf. eine großzügig angelegte Monographie geschaffen, wobei nicht verschwiegen werden darf, daß eine ganz wesentliche Bereicherung unserer Kenntnisse dieser biologisch so ungemein interessanten, wie praktisch so wichtigen Fliegengruppe vom Verf. selbst stammt. Im allgemeinen Teil kommen u. a. zur Darstellung folgende Kapitel: Lebensweise der Tachinen als Insektenparasiten, das Leben der Fliegen selbst, die Eiablage, Fruchtbarkeit, Verhalten der Wirte gegenüber den Angriffen der Schmarotzer, Eindringen der Larven in den Wirt, das Leben der Larven, über die Verpuppung

und Puppenruhe, Generationsverhältnisse, die Wirksamkeit der Tachinen bei Massenvermehrung von Insekten, progressive Zunahme der Parasiten, Mykosen und Hyperparasiten der Tachinen, mono- und polyphage Arten, Angaben über die Technik der Untersuchung auf Tachinenbefall der Insekten, Aufzucht und Ansiedelung von Tachinen. Auf Einzelheiten kann bei der Fülle des Gebotenen leider nicht eingegangen werden. Es sei deshalb nur die Einteilung in *biologische Gruppen* auf Grund der Fortpflanzungsverhältnisse wiedergegeben, wie sie Verf. nach langem Studium getroffen hat. *Baer* unterscheidet 10 biologische Gruppen: 1. die oviparen Arten — das Ei wird auf die Haut des Wirtes gelegt, 2. die Arten mit den abnorm kleinen Eiern, die auf die Futterpflanzen gelegt werden, um mitgefressen zu werden, 3. die larvengebärende Gruppe, 4. die ovovivipare Gruppe von ungeheurer Fruchtbarkeit, welche gepanzerte Eier in die Nähe der Wirtes legt, die auskommenden Larven stürzen sich wie Wegelagerer auf ihre Wirtes, 5. die Gruppe mit gleichen Verhältnissen wie die vorige, aber mit geringer Fruchtbarkeit, 6. die ovovivipare Gruppe, die den Wirt äußerlich direkt belegt, 7. die ovovivipare Gruppe, welche aber den Wirt vorher durch einen besonderen Dorn verwundet, um die Brut in den Wirt zu befördern, 8. die Gruppe, welche wie die vorige verfährt, aber die Legeröhre selbst zum Verwunden des Wirtes benutzt, 9. die ovipare Gruppe, welche mit komplizierten Apparaten den Wirt verwundet und festhält, 10. die ovipare Gruppe, die ihre gestielten Eier an den Haaren der Wirtes befestigt. — Wie aus dieser Gruppeneinteilung ersichtlich, liegen die mannigfaltigsten biologischen Verhältnisse bei den Tachinen vor, und mit Recht hebt Verf. hervor, daß die Differenzierung und Spezialisierung dieser Formen viel mehr nach der ökologischen wie nach der morphologischen Seite hin erfolgte. Dieser kurze Hinweis muß hier genügen, man ersieht daraus, wie vielseitig Verf. die Aufgabe behandelt hat. Der allgemeine Teil hat nicht nur für die Entomologie Bedeutung, auch für die allgemeine Zoologie ist er eine Fundgrube interessantester biologischer Daten.

Der spezielle Teil ist noch umfangreicher als der allgemeine, und hier bewegt sich *Baer* auf seinem eigenen Gebiete. Er bringt, soweit das heute überhaupt möglich, Ordnung in die verworrenen systematischen Verhältnisse unserer Tachinen. Dabei wird für jede Art nicht bloß eine Beschreibung entworfen, sondern auch das ganz Besondere ihrer Lebensweise hervorgehoben. Schade ist, daß wegen der ungeheuren Herstellungskosten der illustrative Teil des 2. Abschnittes etwas zu knapp gehalten ist. Für diejenigen, welche sich in die Tachinenforschung einarbeiten wollen, ist das Baersche Buch unentbehrlich.

Albrecht Hase, Berlin-Dahlem.

**Alverdes, Friedrich, Rassen- und Artbildung.** (Abhandlungen zur theoretischen Biologie, herausgegeben von Julius Schaxel, Heft 9.) Berlin, Gebr. Borntraeger, 1921. V, 118 S. und 6 Abb. im Text. Preis M. 32,—.

Es ist eine dankbare und undankbare Aufgabe zugleich heute eine zusammenfassende Schrift über Rassen- und Artbildung zu schreiben: undankbar, weil es in dem Gewirr verschiedenartigster Tatsachen und widersprechender Meinungen schwer ist, einen festen Standort zu gewinnen, ohne dabei in Einseitigkeit zu verfallen und die Objektivität zu verlieren, dankbar, weil es einem theoretisch und kritisch veranlagten Autor eine besondere Freude bedeuten muß,



das vorliegende Material unter einheitlichen, wenn auch notwendigerweise vorläufigen Gesichtspunkten zu ordnen, sichere Erfahrungstatsachen und kritisch darauf gebaute Schlüsse von voreiligen Verallgemeinerungen experimentell oder beobachtend gewonnenen Ergebnisse zu scheiden. „Zwischen Theorie und gesichertem Besitz zu scheiden und die bisher gemachten Voraussetzungen auf ihre Leistungsfähigkeit hin zu prüfen“, erklärt die vorliegende Schrift für ihre „vornehmste Aufgabe“. Sie bespricht nach einer kurzen Einleitung zunächst in einem längeren Einführungskapitel das *Zusammenspiel der inneren und äußeren Faktoren*. In einem weiteren Kapitel werden als *Vorfragen* abgehandelt: Zweckmäßigkeit, Anpassung, Selektion, direkte Bewirkung usw. Die drei folgenden Kapitel bringen das Tatsachenmaterial für die drei Gruppen der Variationen: die *reinen Phänovariationen*, die *Mutationen* und die *Genovariationen durch Faktorenkombination*. Das Schlußkapitel faßt das Gesagte in dieser und jener Richtung zusammen und ergänzt es durch Beibringung weiteren Materials. Überall werden die einzelnen Autoren mit ihren Befunden und theoretischen Vorstellungen angeführt, mit besonderer Ausführlichkeit *Tower*, und der Verfasser macht manche gute Einzelbemerkung. Scharf und klar postuliert das Eingangskapitel einen mechanistischen Standpunkt, dem jedes biologische Geschehen die eindeutig bestimmte Resultante sämtlicher beteiligter Faktoren ist, und ebenso richtig wird die grundsätzliche Gleichheit innerer und äußerer Faktoren betont. Abzulehnen dagegen ist *Alverdes'* Vorschlag, „unter einem Faktor nur etwas *Stoffliches* zu verstehen, aber nicht die Zustände, in welchen sich Körper befinden, oder Vorgänge, welche sich an ihnen abspielen . . .“. Durch eine solche Formulierung wird nur Verwirrung statt Klarheit geschaffen, solange wir für die etwa bei einem Erbgeschehen beteiligten Faktoren oft nichts als Worte haben. Erkenntnistheoretisch schief ist der zweimal in ähnlicher Art ausgesprochene Gedanke: „Sollten wir dazu gelangen, daß wir den Lebensprozeß ohne eigengesetzliche innere Faktoren rein physikalisch-chemisch erklären können, dann ist die Frage nach dem *Zustandekommen* der Eigenschaften und der Wirkungsweise der dabei beteiligten Substanzen selbst überhaupt noch gar nicht angeschnitten!“ Auch sonst hätte der Referent gerade in Hinsicht auf die bei einer solchen Arbeit notwendige schärfste gedankliche Fassung noch einige Einwendungen zu machen. Doch das alles sind natürlich nur Einzeleinwände. Schwerer wiegt, daß der Verfasser nicht eigentlich eine *Zusammenfassung* als vielmehr eine *Zusammenstellung* gegeben hat. Wer Material sucht, findet vieles; wer aber einen Gesamtüberblick sucht, vermißt manchesmal bei allzu loser Aneinanderreihung einzelner Absätze den leitenden Faden. So bereitet die Lektüre nicht das Vergnügen, das sie bei einem strafferen Aufbau gewähren könnte.

Günther Just, Berlin-Dahlem.

Schaxel, J., *Untersuchungen über die Formbildung der Tiere*. 1. Teil. Auffassungen und Erscheinungen der Regeneration. Heft 1 der „Arbeiten aus dem Gebiete der experimentellen Biologie“, hgg. v. J. Schaxel. Berlin, Gebr. Borntraeger, 1921. VIII. 99 S. und 30 Abbildungen im Text. Preis M. 36.—

Kritische Erwägungen erregten bei dem Verfasser Bedenken hinsichtlich der üblichen Auffassung der Neubildungsvorgänge und veranlaßten ihn zu dem Versuche, das Wesen der Regeneration auf Wegen zu erforschen, welche durch vorherige strenge begriffliche

Feststellung der Ziele gewiesen wurden. Er berichtet über eine große Anzahl verschiedenartiger Versuche, welche betreffen: Die teilweise und die völlige Entfernung einfacher und zusammengesetzter Organe; die wiederholte Entfernung von Teilen; die Verhinderung, die Beschränkung sowie den Verlauf von Ersatzbildungen.

Sicherlich sind der Fleiß und die Vielseitigkeit zu bewundern, welche der Verfasser zur Erreichung der ihm vorschwebenden Ziele aufgewendet hat. Auch glückte es ihm, neuartige Ergebnisse zu ermitteln. Der Gesamteindruck des Werkes ist aber dennoch der, daß der Verfasser zu viel auf einmal unternommen und infolgedessen zu wenig gründlich durchzuführen vermocht hat. Die bearbeiteten Themen erfordern umfassendere Versuchsreihen und vor allem eine weit eingehendere mikroskopische Untersuchung. Auch wird die Literatur viel zu wenig — zumeist gar nicht — berücksichtigt.

Die allgemeinen Schlußfolgerungen, welche *Schaxel* aus seinen Versuchen zieht, treten unter solchen Umständen recht unvermittelt an den Leser heran und entbehren der nötigen Begründung. An sich sind sie für jeden, der sich mit den Problemen der Neubildungsvorgänge beschäftigt, anregend und von hohem Interesse. Sie hier näher zu erörtern, ist naturgemäß nicht möglich und auch nicht notwendig, da der Verfasser selbst ihren „vorläufigen“ Charakter betont.

Das großzügig geplante Unternehmen *Schaxels* wird sicherlich sehr wertvolle Ergebnisse liefern, besonders dann, wenn es weniger in die Breite als in die Tiefe gerichtet sein wird.

Alfred Fischel, Wien.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Zum allgemeinen Magnetfeld der Sonne.

In Heft 45 der „Naturwissenschaften“ 9. Seite 921 gibt Herr *R. Emden* in einer lichtvollen Würdigung des Zeemaneffekts für die Sonnenforschung durch *Hale* und seine Mitarbeiter auf dem Mount Wilson eine Berechnung der Abnahme, die das allgemeine Magnetfeld der Sonne mit der Höhe zeigen müßte, falls die Sonne als gleichmäßig magnetisierte Kugel angenommen wird. Im Anschluß daran weist er darauf hin, daß die Folgerung, die *Hale* aus einem reichen Beobachtungsmaterial gezogen hat und nach der das allgemeine Magnetfeld der Sonne bereits in 450 km Höhe über der Photosphäre erlischt, dieser Annahme einer gleichmäßigen Magnetisierung der Sonne, die sich sonst so gut bei der Durchrechnung des ganzen Beobachtungsmaterials bewährt hat, *widerspricht*. Hierdurch entsteht aber *nur dann ein scharfer Gegensatz*, wenn die bisherigen Annahmen über die möglichen Ursachen des allgemeinen Magnetfeldes der Sonne zutreffend wären.

Es erscheint daher viel richtiger, die Magnetisierung infolge der erwähnten Ursachen als unerheblich anzunehmen gegenüber einer viel stärker wirkenden, die mit der Feststellung *Hales* in Einklang ist. Bezüglich einer solchen Verweise ich auf meine Veröffentlichungen in der „Gaea“ 1909, Heft 10 und 11, sowie im „Sirius“ 1918, Heft 9 und 10. Danach ist die Sonne nicht bloß *statisch negativ* geladen, sondern sie stellt durch die Atomzermalmung im Sonnenkern, infolge Überwindung der Atomfestigkeit seitens des Gravitationsdruckes daselbst, zugleich mit der in ihr tätigen *thermischen* Energiequelle auch eine ebenso

primäre Quelle für elektrische Energie dar. Die in ihrer Kathodenstrahlung ausgesandten Elektronen ionisieren alsdann die der Sonne benachbarten, *außer-atmosphärischen* Wolken aus Zodiakallichtmaterie und den im Wechsel der Fleckenperioden zeitweise von der Sonne durch elektrostatische Abstoßung in der Äquatorialzone getrennten Teilen ihrer eigenen Atmosphäre, so daß positive Gasionen daraus angezogen und die zur Aussendung der steiferen Kathodenstrahlung nötigen elektrischen Intensivfelder gebildet werden können.

Wenn aber über den negativ geladenen Schichten der Atmosphäre auch positive unter stetiger Neubildung während des beiderseitigen Ausgleichs ihrer Ladungen beim Herabstürzen der zeitweilig von der Sonne getrennt gewesenen Gas- und größeren Staubmassen lagern, so muß das von den negativen Ionen und Elektronen bei der Rotation der Sonne erzeugte Magnetfeld tatsächlich nach oben rasch abnehmen und erlöschen durch das entgegengesetzte, darüber gelagerte Feld infolge der wieder in die Sonnenatmosphäre hinabstürzenden und an der Rotation nicht nur teilnehmenden, sondern noch *voreilenden* Träger der positiven Ladungen.

Die Dicke der positiven Schicht kann nicht sehr groß sein; aber es folgt auf sie sicher keine neue magnetisierende Schicht, da weder die durch sie hindurch geflogenen primären Kathodenstrahlen noch diejenigen lichtelektrischen Elektronen, welche erst von der elektrischen Ladung der lange Zeit diesen Strahlen ausgesetzt gewesen und vom Lichtdruck schwebend erhaltenen, *feineren* Staubmassen in der *Umgebung* der Sonne beschleunigt worden sind, so an der Rotationsbewegung teilnehmen können, wie die aus einer Art planetarischer Umlaufbewegung in die Rotation hineingeratenen Gasionen, oder wenigstens wie der allein magnetisch wirksame Überschuß der positiven Träger über die negativen Ladungen.

Obige Erklärung der sicher zum Teil äußerst steifen Kathodenstrahlung der Sonne steht nicht nur mit *Hales* wohlbegründeter Schlußfolgerung in bestem Einklang, sondern wird auch durch den von mir auf der 24. Hauptversammlung des Deutschen Vereins zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts in Göttingen angegebenen Nachweis gestützt, daß auf der Grundlage meiner Theorie, aus der die angedeutete Herkunft der Sonnenenergie und der Kathodenstrahlung der Sonne mit zwingender Notwendigkeit folgt, sich gegenwärtig schon 24 allgemeine Naturkonstanten durch äußerst einfache Formeln exakt berechnen lassen. Dabei weicht kein berechneter Wert mehr als  $\frac{1}{3}$  Prozent, für die 12 am genauesten bekannten aber noch weniger als  $\frac{1}{10}$  bis  $\frac{1}{100}$  Prozent von den besten, experimentell ermittelten Werten der gleichen Konstanten ab (Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften 27, Seite 60, 1921, Nr. 5 und 6).

Demnach darf man annehmen, daß die beiden entgegengesetzten, starken Magnetisierungen der Sonne sich überall fast vollständig aufheben bis auf eine Schicht, deren Dicke vergleichbar ist der Dicke derjenigen Höhenregionen, in welchen der *untere negative* und der *obere positive* Rotationskonvektionsstrom ihren Sitz haben. In der Nähe beider Schichten und besonders zwischen denselben aber bleibt ein *Differenzfeld* übrig, das bei den auch von *Hale* gemachten Annahmen über die Ionisierung der Sonnengase von der Größenordnung  $10^{-3}$  der wahren Stärke seiner *beiden Komponenten* ist und welches gestattet, die Sonne hinsichtlich der Achsenneigung und des Kraft-

linienverlaufs an ihrer Oberfläche in erster Annäherung noch wie eine einfach magnetisierte Kugel anzusehen, nur mit dem Unterschied, daß seine *Abnahme mit der Höhe eine viel raschere* ist.

Wegen seiner Beweiskraft für ein solches Differenzmagnetfeld und dadurch zugleich für eine Schicht mit überwiegend positiven Ionen über einer solchen mit negativen Ionen und Elektronen in der Sonnenatmosphäre kommt dem eingangs erwähnten Hinweis des Herrn *Emden* eine große Bedeutung zu.

Coblenz, 8. Dezember 1921.

H. Rudolph.

## Deutsche Ornithologische Gesellschaft.

In der Sitzung am 3. Oktober hielt Herr *Sachtleben* einen Vortrag über die **Verbreitung und geographische Variation der weißen Bachstelzen**. An der Hand von Bälgen besprach der Vortragende die verschiedenen Kleider, die nach Rasse, Alter, Jahreszeit und Geschlecht sehr abweichen. Man muß Jugendkleid, erstes Ruhekleid, erstes Brutkleid, zweites Ruhekleid und zweites Brutkleid unterscheiden. Aus einem vergleichenden Studium der verschiedenen Rassen und Kleider läßt sich die Vermutung aussprechen, daß die zahlreichen Variationen des Gefieders sich aus einem Urtyp entwickelt haben. Dieser war dem ziemlich übereinstimmenden Jugendkleid aller Rassen ähnlich, d. h. graurückig und grauköpfig mit dunklem Kropfband. Hierfür spricht außer dem jetzigen Jugendkleid auch das ähnlich gefärbte Ruhekleid vieler Rassen. Nimmt man ein derartiges Urkleid der weißen Bachstelze an, so kann man folgende drei Entwicklungsrichtungen feststellen, die am deutlichsten im Brutkleid auftreten:

1. Ausbreitung des schwarzen Kropfbandes über Kehle, Kinn und schließlich über die Kopfseiten. *Motacilla baicalensis* und *leucopsis* haben noch weiße Oberkehle; *alba*, *dukhunensis*, *lugubris* zeigen bereits schwarzes Kinn und bei *personata*, *grandis* und *hodgsoni* greift das Schwarz auch auf die Kopfseiten über.
2. a) Der Oberkopf wird schwarz. Dieser Entwicklungsgrad wird von allen Rassen im adulten Brutkleid erreicht.  
b) Das Schwarz erstreckt sich auch auf die ganze Oberseite. — Grauen Rücken und schwarzen Oberkopf haben: *alba*, *baicalensis* und *dukhunensis*. Schwarzen Rücken zeigen: *lugubris*, *hodgsoni*, *leucopsis* und *grandis*.
3. Ausbildung eines schwarzen Augenstreifens, der sich bei *ocularis* mit grauem Rücken und bei *lugens* mit schwarzem Rücken findet.

Die Zunahme der schwarzen Färbung zeigt sich sowohl bei insularen Formen, wie *lugens*, *grandis* und *lugubris*, als auch bei kontinentalen Rassen, wie *leucopsis* und *hodgsoni*. Bezüglich der Färbung lassen sich also nur Grad und Richtung, aber nicht die Ursachen feststellen. Zur Zugzeit kommt die weiße Bachstelze im Himalaya in Höhenlagen zwischen 3000 und 4000 m vor.

Herr *Heinroth* hielt einen Lichtbildervortrag über die **Entwicklung der Blaurake, des Hühnerhabichts und der Schleiereule**. Die Bilder illustrieren die fortschreitende Entwicklung dieser Vögel vom Auschlüpfen aus dem Ei bis zum vollendeten Wachstum in ganz hervorragender Weise. Der Vortragende wies zugleich auf viele interessante biologische Eigenarten dieser Vögel hin.

Nach seinen Beobachtungen beträgt die Brutdauer



der Blaurake 19 Tage, die Entwicklungszeit des Nestvogels bis zum Ausfliegen 28 Tage. Die frisch ausgeschlüpften Blauraken sind völlig nackt. Am Schnabelwinkel befinden sich Tastwarzen, bei deren Berührung der Vogel sofort einen vorgehaltenen Bissen abnimmt. Ähnlich wie bei den Eisvögeln und Kuckucken ist das Gefieder des Jungvogels zunächst längere Zeit mit Hüllen umschlossen, so daß der Vogel einen stacheligen Eindruck macht. Der junge Hühnerhabicht entwickelt sich im Vergleich zum Bussard auffallend schnell. Die Schleiereule hat nach *Heinroths* Erfahrungen unter allen mittelgroßen europäischen Eulen die längste Brutdauer und die langsamste Jugendentwicklung. —

An die wissenschaftliche Sitzung schloß sich eine geschäftliche Sitzung an, in der einstimmig beschlossen wurde, eine Vereinsbibliothek anzulegen. Diese soll auf dem Museum für Naturkunde in Berlin aufbewahrt werden. Da nur geringe Mittel zur Beschaffung von Büchern zur Verfügung stehen, so werden alle Mitglieder und Gönner der Deutschen Ornithologischen Gesellschaft gebeten, Separate ihrer Arbeiten und Exemplare von im Buchhandel erschienenen Büchern der Bibliothek zu stiften. Diese Sendungen sind zu richten an: Die Deutsche Ornithologische Gesellschaft, Berlin N 4, Invalidenstr. 43, Museum für Naturkunde.

Sitzung am 7. November. Herr *Schalow* sprach über den Gesang des wilden Kanarienvogels, der nach den Angaben vieler Autoren, die den Kanarienvogel in seiner Heimat eingehend beobachtet haben, große Ähnlichkeit mit dem Gesang des domestizierten Vogels der gewöhnlichen Landrasse hat. Der Gesang des Wildlings ist in seiner Güte und Reichhaltigkeit außerordentlich verschieden. Importierte Wildlinge, die *Heinroth* und *v. Lucanus* hielten, ließen freilich nur einen recht stümperhaften Gesang hören, der mehr an den Schlag des Baumpiepers als an einen Kanariengesang erinnerte. Den Vögeln fehlte vor allem das für den gezähmten Kanarienvogel so charakteristische Rollen des Gesangs. *v. Lucanus* legte ein jüngst erschienen Buch von *Skovgaard* in Viborg über den schwarzen Storch vor, das alle Brutplätze des schwarzen Storches in Dänemark aufführt und vorzügliche in der Natur angefertigte Lichtbilder vom Horst, von den Eiern und Jungen sowie aus der Lebensweise der alten Vögel enthält.

In einem Vortrag über die Flugformen der Zugvögel wies *v. Lucanus* darauf hin, daß bei der bekannten Winkelform die einzelnen Vögel nicht auf Vordermann fliegen, sondern seitwärts nach außen gestaffelt, was vielleicht weniger aus aerodynamischen Gründen erfolgt, wie manche Autoren meinen, sondern wohl den Zweck hat, die Vögel auf ihrem geselligen Fluge vor einem Aufprellen zu schützen, wenn der Vordermann seine Fluggeschwindigkeit zufällig mal verringert. Die Flugformen der Zugvögel hat *v. Lucanus* in seinem im Verlage von Beyer und Mann in Langensalza jetzt erschienenen Werke „Die Rätsel des Vogelzuges. Ihre Lösung auf experimentellem Wege durch Aeronautik, Aviatik und Vogelberingung“ eingehend geschildert.

Herr *v. Boxberger* teilte mit, daß die Bartmeise in Schlesien als Brutvogel festgestellt worden ist.

F. v. Lucanus, Berlin.

## Deutsche Meteorologische Gesellschaft (Berliner Zweigverein).

In der Sitzung am 4. Oktober sprach Professor Dr. *G. Schwalbe* über Fröste am Erdboden in Norddeutschland. Im Netze des preußischen Meteorologischen In-

stituts sind etwa 20 Stationen mit Minimumthermometern ausgerüstet, welche 5 cm über Rasenboden liegen. Ihre Angaben bilden zu der gebräuchlichen Aufstellung in 2 m Höhe eine wertvolle Ergänzung, da nur durch sie die für die Landwirtschaft so wichtigen Bodenfröste einigermaßen sicher bestimmt werden. Die in solche Bodenmessungen eingehenden Fehlerquellen wurden ausführlich besprochen; verschieden hohe Aufstellungen lassen sich verhältnismäßig leicht aufeinander beziehen, schwieriger ist die Berücksichtigung örtlicher Verschiedenheiten, am stärksten sind aber die häufigen Korrekursionsänderungen von frei exponierten Minimumthermometern, da bei den meisten Thermometern sehr bald bei starker Bestrahlung Alkohol in den oberen Teil der Kapillare hinaufdestilliert. Von dem Einflusse verschiedener Bodensorten wurde besonders die Frostgefahr über Moorboden hervorgehoben. In Neu-Hammerstein (Hinterpommern) beträgt die mittlere jährliche Zahl der Frosttage 174 über Sandboden gegen 192 über Moorboden.

Der Vortragende besprach alsdann für einige norddeutsche Stationen die Ergebnisse betreffs mittlere und absolute Werte der Temperaturminima, Zahl der Frosttage, Eintritt des letzten und ersten Frostes. Die winterlichen Temperaturminima sind in 5 cm Höhe durchschnittlich um 2° tiefer als in 2 m Höhe. In dieser Jahreszeit sind die Unterschiede hauptsächlich durch den Grad der Ozeanität der Station, im Sommer dagegen mehr durch die örtlichen Verhältnisse bedingt. Örtliche Verschiedenheiten äußern sich am besten in der Zahl der Frosttage. In der Umgebung von Berlin kommen in 5 cm Höhe etwa 30 % mehr Frosttage vor als in 2 m Höhe (hier rund 100 Tage). Durchschnittlich tritt der letzte Bodenfrost Mitte Mai, der erste Anfang Oktober ein; über Moorboden, z. B. bei Schöningsdorf im ostfriesischen Bourtanger Moor verschieben sich diese Grenzen in extremen Fällen bis zum 19. Juli und 1. August, so daß hier während des ganzen Jahres mit Nachtfrost gerechnet werden muß. Wie verbreitet überhaupt in Norddeutschland Bodenfröste sind, zeigt der Umstand, daß sie von November bis Ende April in etwa 95 % aller Tage auftreten.

In der Sitzung am 8. November hielt zuerst Geheimrat Dr. *Hellmann* einen kurzen Nachruf auf *Julius von Hann*, welchen er für den bedeutendsten und fruchtbarsten Meteorologen, der je gelebt hat, erklärte. Alsdann sprach Professor *Kasner* über die „Spätsommerregen im deutschen Küstengebiet“. Das Thema war veranlaßt durch die Frage der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft: „Wo lassen sich Dauerweiden anlegen?“ Das kann nur dort geschehen, wo außer dem Juli auch die Monate August und September verhältnismäßig feucht sind. Der Klima-Atlas von Deutschland zeigt, daß im August eine monatliche Regenmenge von mindestens 80 mm in Norddeutschland meist nur im Küstengebiet zu finden ist, am ausgedehntesten in Schleswig-Holstein, einem Teil des nördlichen Hannover, Hinterpommern und Ostpreußen. Im September beschränken sich die niederschlagsreicheren Gegenden auf Schleswig-Holstein sowie das östliche hinterpommersche und ostpreußische Küstengebiet. Um die Frage für praktische Zwecke genauer zu beantworten, zeigte und erläuterte der Vortragende verschiedene von ihm entworfene Karten der Regenunterschiede zwischen Juli, August und September, gruppiert nach Menge, Zahl der Regentage und Häufigkeit. Bezüglich der Ursache des August-Regenmaximums in einzelnen Küstengebieten

kam Herr *Kapfer* zu dem Ergebnis, daß Gewitter hierfür nicht maßgebend sind, sondern das Vorr herrschen warmer und feuchter westlicher Winde, wobei örtliche Einflüsse, z. B. starke Erwärmung des Wassers, besonders der flachen und zeitweise trockenen Wattenmeere, eine Rolle spielen können.

Geheimrat Dr. *Hellmann* erörterte dann die Frage: Welchen Rang nimmt der heiße Sommer 1921 ein? Nach der von dem Vortragenden 1918 vorgeschlagenen Klassifizierung heißer Sommer gehört er in Berlin an die vierte Stelle. Heißer waren seit 1829 nur die Sommer 1834, 1868 und 1911. Allerdings hatte 1921 einen heißen Tag (Maximum  $\geq 30^\circ$ ) mehr als 1911, dafür war aber die Zahl der sehr warmen und warmen Tage ( $\geq 25^\circ$ ) etwas kleiner, und es hatte der verflossene Sommer auffallend viele kühle Tage (Maximum  $< 15^\circ$ ), die in den andern drei heißen Sommern ganz fehlten. In West- und Süddeutschland scheint der Sommer erheblich heißer und trockener als in Berlin gewesen zu sein. In Karlsruhe stieg das Thermometer am 28. Juli bis  $39,4^\circ$ , und wenn auch diese Maximaltemperaturen durch Strahlungseinflüsse etwas übertrieben sind, so scheint es doch nicht ausgeschlossen zu sein, daß die Temperatur in Deutschland bis  $40^\circ$  steigen kann.

Auf Anregung aus dem Kreise der Gesellschaft teilten schließlich Geheimrat Dr. *Hellmann* und Dr. *Knock* einige Ergebnisse mit, die dem vom Meteorologischen Institut herausgegebenen Klima-Atlas von Deutschland zu entnehmen sind.

Die Sitzung am 6. Dezember fand in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt statt, wo Geheimrat Dr. *Scheel* die Einrichtung des Prüfungslaboratoriums der ihm unterstellten Abteilung für Wärme und Druck zeigte. Sü.

## Botanische Mitteilungen.

**Über experimentelle Verschiebung des Geschlechtsverhältnisses.** Im vorigen Jahre wurde in dieser Zeitschrift über Versuche von *Correns* berichtet, die sich mit der Frage der experimentellen Verschiebung des Geschlechtsverhältnisses der diöcischen Pflanze *Melandrium* (Lichtnelke) beschäftigten. *Correns* ging von der Beobachtungstatsache aus, daß an den natürlichen Standorten der Pflanze weibliche Individuen stark dominieren (ca. 56 % ♀ und 44 % ♂). Der Geschlechtscharakter der Nachkommen wird in diesem Fall durch die Pollenkörner bestimmt; da nun bei der Reduktionsteilung männchenbestimmende und weibchenbestimmende Pollenkörner in gleicher Anzahl gebildet werden, so wäre normalerweise das Geschlechtsverhältnis 1:1 zu erwarten. Worauf beruht also der Überschluß an Weibchen? *Correns* konnte dartun, daß offenbar die weibchenbestimmenden Pollenkörner den andern durch ihr schnelleres Vordringen zu der Eizelle überlegen sind. In dem Maße, als die Konkurrenz ausgeschaltet wird, nähert sich das Geschlechtsverhältnis der Gleichgewichtslage. Für diese Tatsache boten fortgesetzte Versuche, über die *Correns* neuerdings berichtet (Sitz.-Ber. d. preuß. Ak. d. Wiss., Phys.-math. Kl. 18, 1921) eine Reihe weiterer Belege. Die Konkurrenz konnte dadurch ausgeschaltet werden, daß so wenig Pollenkörner zur Befruchtung verwendet wurden, daß jedem Pollenkorn die Möglichkeit geboten wurde, zu einer Eizelle zu gelangen. Im Gegensatz zu früheren Experimenten wurde jetzt in einzelnen Fällen erreicht, daß das theoretische Verhältnis 1:1

vollständig verwirklicht wurde. Daß tatsächlich verschiedene Wachstumsgeschwindigkeit der beiden Pollensorten eine maßgebende Rolle spielt, konnte *Correns* schon früher in folgender Weise dartun. Die Samen der oberen und der unteren Kapselhälfte wurden getrennt ausgesät, und es zeigte sich, daß unter den Nachkommen der oberen Kapselhälfte wesentlich mehr Weibchen vorhanden sind als unter denen der unteren. Dies ist in folgender Weise zu deuten. Die rascher wachsenden weibchenbestimmenden Pollenschläuche gelangen zuerst in den Fruchtknoten und erobern sich unter den Samenanlagen die nächstgelegenen Plätze der oberen Hälfte. Die etwas nachhinkenden männchenbestimmenden finden diese bevorzugten Plätze schon besetzt und müssen infolgedessen in größere Tiefe dringen. Auch dieses Verhalten wird durch neue Versuchsdaten belegt. Um diese Deutung zu erhärten, wurde noch eine weitere Versuchsreihe in Gang gesetzt. „Man wählt als Weibchen eine rein weißblühende Pflanze und bestäubt sie zunächst mit ganz wenig Pollen des rotblühenden, reinen (homozygotischen) *Melandrium rubrum*. Dann, nach etwa 24 Stunden, wird sehr reichlich Pollen eines rein weißblühenden Männchens auf die Narben gebracht. Später erntet man den obersten Teil der Kapseln getrennt von dem Rest und sät auch getrennt aus. Die Samen, die durch Befruchtung mit *rubrum*-Pollen entstanden sind, müssen lauter rotblühende Pflanzen geben, die übrigen Samen weißblühende.“ Es zeigte sich, daß das obere Drittel der Kapsel viel mehr rotblühende Formen gab als die beiden unteren Drittel zusammengekommen. Danach ist die Überlegung, daß die zuerst ankommenden Pollenschläuche die oberen Kapselteile bevorzugen, richtig. *Correns* hat nun den Einfluß der Konkurrenz noch in zweifacher Weise veranschaulicht. Die Narbe wurde befruchtet und dann nach bestimmter Zeit der Zusammenhang zwischen Griffel und Fruchtknoten unterbrochen. Auf diese Weise werden die Nachzügler von der Befruchtung ausgeschlossen, und es ergab sich, daß nunmehr mehr Weibchen produziert werden als wenn der Eingriff unterbleibt. Schließlich wurden Versuche in Gang gesetzt, bei denen einerseits die Basis des Griffels, andererseits die Spitze mit Pollen belegt wurde. Hierfür war die Überlegung maßgebend, daß die schneller wachsenden Pollenschläuche der weibchenbestimmenden Körner um so mehr im Vorteil sind, je länger der zurückgelegte Weg ist. Auf diese Weise können zufällige Vorteile, die dadurch bedingt sind, daß beim Auftrage des Pollens einzelne Körner in größere Nähe der Samenanlagen gelangen als andere, im weiteren Verlauf besser ausgeglichen werden, und es zeigte sich tatsächlich, daß die weibchenbestimmenden Pollenschläuche ihre männlichen Konkurrenten in um so größerer Anzahl überholen, je weiter die Strecke ist, die von beiden Partnern durchgemessen werden muß. So hat es, und das ist das Wesentliche, der Experimentator durchaus in der Hand, das Geschlechtsverhältnis in beliebiger Richtung zu verschieben.

**Entomophilie bei Laubmoosen.** Wie bei den Blütenpflanzen, so können auch bei manchen Kryptogamen Insekten in den Dienst bestimmter biologischer Aufgaben gestellt werden, nur daß solche Fälle weniger verbreitet und weniger bekannt sind. In erster Linie handelt es sich dabei um die Sporenverbreitung. Einige Beispiele derart, die sich auf die Laubmoosfamilie der Splachnaceen beziehen, bringt *F. v. Wettstein* (Splachnaceenstudien I. Entomophilie und Spaltöffnungsapparat, Öst. Bot. Zeitschr. 1921). Die Splachnaceen bevorzugen Nährböden, die reich sind an



organischen Substanzen wie Exkremente, Tierleichen usw., und in vielen Fällen scheinen die Sporen auch nur auf solchen Substraten zu keimen. Da nun derartig extreme Standortbedingungen nur da und dort verwirklicht sind, so sind besondere Anpassungserscheinungen erforderlich, die eine zuverlässige Übertragung der Sporen ermöglichen. Als Verbreiter kommen hauptsächlich Aasfliegen in Frage, die erfahrungsgemäß die Splachnaceen gern besuchen. Man kann nun tatsächlich an den Sporogonen dieser Moose Eigenschaften feststellen, die offenbar auf eine Anlockung der Insekten abzielen. Hierher gehört, zunächst die Tatsache, daß der untere Teil der Sporenkapsel, die Apophyse, in einen auffälligen Schauapparat umgewandelt ist. Sie ist bei *Splachnum luteum* und *S. rubrum* — im Gegensatz zu anderen Moosen — groß-schirmförmig und leuchtend gelbgrün bzw. trübrot gefärbt, bei *S. vasculosum* bläsig aufgetrieben, ebenfalls trübrot. Die Wirkung wird durch das dichte Zusammenstehen zahlreicher Sporogone und durch kontrastierende Färbung des Kapselstiels erhöht, beides Prinzipien, die auch bei den Blütenpflanzen auftreten. Zu diesem Schauapparat tritt nun verstärkend — und wahrscheinlich in seiner Wirksamkeit bedeutender — der Aasgeruch hinzu, der an den entsprechenden Duft bei Aasblumen und beim Teufelses (Phallus) erinnert und der zur Zeit der Sporenreife den ganzen Raum erfüllt, in dem die Mooskulturen stehen. Daß der Duft zur Anlockung ausreicht, geht aus der Tatsache hervor, daß die Fliegen die Kapseln auch im Dunkeln auffinden. Anatomisch konnte wahrscheinlich gemacht werden, daß die Spaltöffnungen in stark exponierte, besonders gebaute Duftorgane umgewandelt sind, wie dies auch beim Spaltöffnungsapparat der Rafflesien beobachtet wurde. Die Duftstoffe gehören wie bei den Aasfliegenblumen der Indolgruppe an. Ob den besuchenden Insekten irgendwelche Substanzen als Nahrung geboten werden, ist noch nicht entschieden. Als Hindeutung darauf könnte die Erscheinung betrachtet werden, daß die Apophyse sehr häufig Stich- und Fraßspuren aufweist. Schließlich sei noch erwähnt, daß die Sporen der Splachnaceen nicht einzeln ausgestreut werden, wie dies bei den übrigen Moosen, bei denen der Wind die Verbreitung übernimmt, der Fall ist, sondern daß sie zu Ballen verklebt bleiben und als ganzes Paket an der Oberfläche der Besucher haften bleiben.

**Die Weißrandpanaschierung von *Acer negundo*.** Das Wesen der bei bestimmten Gartenpflanzen häufig beobachteten „Panaschierung“ ist zuerst durch *Baur* in befriedigender Weise geklärt worden. *Baur* gelangte auf Grund seiner anatomischen Untersuchungen an Pelargonien zur Aufstellung folgender Typen: 1. Sektoralchimären; Stengel sektorenweise grün oder — durch Mangel an Chlorophyllkörnern — weiß; die grünen Sektoren bilden grüne, die weißen weiße Blätter und Seitensprosse. An der Grenze treten sektorial geteilte Seitenorgane auf. 2. Periklinalchimären. Hier sind die äußersten Stellen des Sprosses weiß, die inneren grün, oder umgekehrt. Im ersten Fall sind die Blätter weißrandig, weil der Blattrand bloß von den äußersten Schichten gebildet wird, der übrige Teil des Blattes ist infolge des Durchscheinens der tieferliegenden Schichten grün, im zweiten ist der Blattrand, an dessen Aufbau bloß die grüne Hülle teilnimmt, dunkelgrün, die Blattmitte dagegen infolge der weißen Innenlage hellgrün. 3. kann eine Kombination der beiden Typen vorliegen (Doppelchimären). Nach den neueren Untersuchungen von *Lakon* (Zeitschr. f. in-

dukt. Abstl. 26, 1921) liegen bei dem panaschierten Gartenahorn (*Acer negundo*) ganz analoge Verhältnisse vor, und es verdient Beachtung, daß ein und dasselbe Individuum organische alle Abwandlungen des Chimärentypus tragen kann. Eine Komplikation, für die auch die Pelargonien Beispiele liefern, liegt darin, daß zwischen Normalgrün und Weiß noch verschiedene Tönungen auftreten können. Das beruht auf der Anzahl der vorhandenen weißen Schichten. Das Blatt von *Acer negundo* baut sich aus 6 Zellagen auf: Epidermis der Blattoberseite, Palisadenschicht, drei Schwammparenchym-schichten und Epidermis der Unterseite. Bei normalen Blättern besitzen alle Zellen des Palisaden- und Schwammgewebes reichlich Chlorophyll, bei weißen Blättern sind sie alle chlorophyllfrei. Nun sind anatomisch zwei Zwischenformen beobachtet worden: 1. Schicht 3 und 4 grün, 2. bloß Schicht 4 grün. Damit sind die Abstufungen: dunkelgrün, mittelgrün, hellgrün und weiß gegeben, die bei sektorialem Typus bei ein und demselben Blatt auftreten können. Hinsichtlich der Anatomie der panaschierten Sprosse war folgendes festzustellen: es ließen sich 4 Sproßtypen unterscheiden, „1. in ihrem ganzen Umfange tiefgrüne, 2. in ihrem ganzen Umfange ganz weiße, 3. in ihrem ganzen Umfange gleichmäßig hellgrüne Sprosse, 4. gestreifte Sprosse, und zwar Streifen in sämtlichen Kombinationen der Farben 1—3“. Die zytologische Untersuchung ergab, daß bei 1 die ganze Rinde grün, bei 2 die ganze Rinde weiß war. Bei 3 war alles grün bis auf einige äußere Schichten der primären Rinde. Bei 4 endlich war die Rinde sektorenweise nach dem Typus 1—3 aufgebaut. Mit diesem Befunde war auch das Verhalten der seitlichen Anhangsorgane geklärt: „Ganz grüne Sprosse tragen normalgrüne Blätter und ganz grüne Seitensprosse, ganz weiße Sprosse tragen ganz weiße Blätter und ganz weiße Seitensprosse, in ihrem ganzen Umfange hellgrüne Sprosse (außen weiße, innen grüne Periklinalchimären) tragen weißrandige Blätter und gleichmäßig hellgrüne Seitensprosse.“ Gestreifte Sprosse (Sektoralchimären) bilden dem jeweiligen Sektor entsprechende Seitenorgane, also halb grüne, halb weiße auf dem grünen Sektor wieder grüne, auf dem weißen wieder weiße usw. Entstehen die Seitenorgane dagegen an der Sektorengrenze, dann tragen auch sie den Charakter von Sektoralchimären. Aber auch aus diesen reinen Sektoralchimären können seitlich Periklinalchimären hervorgehen, wenn nämlich die Sektorengrenze nicht genau in der Richtung des Radius verläuft. So kann es vorkommen, daß die weiße Zone randlich ein wenig über die grüne übergreift und der Seitensproß, der normalerweise rein grün erscheinen müßte, eine weiße Hülle trägt. Je nach der Art dieses Übergreifens kann dann hell- oder mittelgrüne Tönung auftreten. Wesentlich ist, daß in der Regel die verschiedenen Zellagen im gesamten ontogenetischen Verlauf ihren Charakter — weiß oder grün — beibehalten. Doch kommen in sehr seltenen Fällen Ausnahmen derart vor, daß an rein weißen Zweigen unvermittelt grüne Areale erscheinen. Solche Anomalien, die dartun, daß der Weiß- und Grüncharakter der Zellen noch nicht absolut gefestigt ist, sind phylogenetisch bedeutungsvoll und geben uns Anhaltspunkte für die Entstehungsgeschichte der Panaschierungserscheinungen.

Mit den Zahlen- und Gewichtsverhältnissen bei einigen heterostylen Pflanzen beschäftigt sich eine neuere Arbeit von *Correns* (Biol. Centralbl. 41, 1921). Das mittlere Gewicht der langgriffligen und der kurz-



griffligen Individuen von Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*) und Lein (*Linum grandiflorum*) wurde auf statistischem Wege ermittelt. Während sich bei manchen diöcischen Pflanzen bei Männchen und Weibchen deutliche Differenzen bemerkbar machen, konnte hier kein Unterschied festgestellt werden. „Es ist auch, wie man nachträglich sagen kann, verständlich. Denn die physiologischen Leistungen sind bei den Langgriffeln und Kurzgriffeln nicht wesentlich verschieden; es ist keine solche Arbeitsteilung eingetreten, wie bei den Männchen und Weibchen einer zweihäusigen Pflanze.“ Ferner wurde das zahlenmäßige Verhältnis von Langgriffeln und Kurzgriffeln bestimmt. Da es sich hier um ein einfach mendelndes Merkmalpaar handelt, so müßte theoretisch gleiche Anzahl beider Formen zu erwarten sein. In Wirklichkeit ergaben sich sowohl beim Buchweizen wie auch beim Lein kleine Abweichungen, die wohl nicht auf Zufall beruhen. „Bei *Linum grandiflorum* überwogen die Langgriffel ganz deutlich, sowohl bei der f. rubra als der f. rosea. Beim Buchweizen verhielten sich die Sorten merklich ungleich. Bei zwei waren mehr Kurzgriffel vorhanden, wie auch bei den Zählungen G. v. *Ubischs*, bei einer war kein erkennbarer Unterschied, und bei einer waren die Langgriffel zahlreicher.“ G. v. *Ubisch* nimmt an, daß die Abweichung von dem theoretischen Verhältnis in ihren Versuchen auf illegitimer Bestäubung beruht. Normalerweise treten ja bloß die Kombinationen: lang  $\times$  kurz und kurz  $\times$  lang ein. Wenn sich nun ein bestimmter Prozentsatz illegitimer Bestäubungen (lang  $\times$  lang und kurz  $\times$  kurz) hinzugesellt und die Kreuzung lang  $\times$  kurz, wie v. *Ubisch* annimmt, zu einem besseren Erfolg führt als lang  $\times$  lang, dann wäre der in ihren Experimenten beobachtete Überschuß an Kurzgriffeln verständlich. Nun sind aber für eine solche Vermutung keine sicheren Anhaltspunkte vorhanden. Jedenfalls konnten in den Correns'schen Versuchen keine illegitimen Bestäubungen nachgewiesen werden. Infolgedessen betont *Correns* die Möglichkeit, daß die Abweichungen vom Gleichgewichtszustand vielleicht bedingt sind durch eine Konkurrenz der langgriffelbestimmenden und kurzgriffelbestimmenden Pollenkörner. Es könnten hier die Verhältnisse analog liegen wie bei den beiden Sorten von Pollenkörnern bei der Lichtnelke (*Melandrium*), wo die Weibchenbestimmer rascher wachsende Pollenschläuche liefern als die Männchenbestimmer. Hierüber müßten noch besondere Versuche Aufschluß geben.

**Über experimentelle Erzeugung von Adventivembryonen bei *Oenothera Lamarckiana*.** In seinen früheren Untersuchungen über „Wundhormone als Erreger von Zellteilungen“ sprach *Haberlandt* die Vermutung aus, daß unter anderem auch die traumatische Parthenogenesis, wie sie beispielsweise durch Anstechen von Froscheiern mit feinen Nadeln erzeugt werden kann, durch Wundhormone ausgelöst wird. Diese Hypothese wurde dann weiterhin auf die natürliche Parthenogenesis, auf die Nucellarembryonie und auf die normale Befruchtung ausgedehnt. Um die Hypothese auf eine breitere Grundlage zu stellen, wurden weitere Experimente in Gang gesetzt, die bei der Nachkerze (*Oenothera Lamarckiana*) zu bemerkenswerten Erfolgen geführt haben<sup>4)</sup>. Um die Bedingungen für eine Produktion von Wundhormonen zu schaffen, wurden die Fruchtknoten dieser Pflanze

mechanisch verletzt, entweder durch Quetschen zwischen zwei Fingern oder durch Einstechen mit einer feinen Stahl- oder Glasnadel bis zur Fruchtknotenmitte. Einige Zeit nach dieser Operation wurde dann das Material fixiert, eingebettet und in Mikrotomschnitten untersucht. Das Resultat der Quetschversuche war folgendes: Die Nucelluszellen starben meist ab; einzelne von ihnen blieben aber am Leben und entwickelten sich zu kugeligen oder elliptischen Blasen, die sich durch Plasmareichtum und etwas vergrößerten Kern auszeichneten; sie wuchsen manchmal fast bis zur Größe des Embryosacks heran und traten vereinzelt in Zellteilung. „So glichen diese Nucellzellen im toten kollabierten Gewebe auffallend den nucellaren Initialzellen, die *Strasburger* für *Citrus Aurantium* beschrieben hat.“ Eine Weiterentwicklung bis zur Ausbildung typischer Nucellarembryonen wurde indes nicht beobachtet. Auch im Embryosack selbst wurden in bestimmten Fällen abnorme Veränderungen ermittelt. Es traten Zellteilungen auf, die im extremen Fall zu einem endospermartigen Gewebe, einem „Wundendosperm“ führten. In manchen Fällen wurde auch die Eizelle selbst in Mitleidenschaft gezogen. Sie hatte sich mit einer zarten Wand umgeben und charakteristische Flaschenform angenommen. So war das Ergebnis nach 8 Tagen. Nach 14 Tagen war das Bild nur wenig verändert. Nur in einem Falle wurde eine Zellteilung beobachtet, die zur Abtrennung eines blasenförmigen Suspensors führte. Weitere Veränderungen traten nicht ein; dies führt *Haberlandt* darauf zurück, „daß die Entwicklung deshalb sistiert wird und baldiges Absterben eintritt, weil infolge der Quetschung die die Baustoffe zuleitenden Zellen der Chalaza größtenteils zugrunde gehen; die jungen Embryonen müssen verhungern“. Bedeutender waren die Erfolge bei den Einstichversuchen, vorausgesetzt, daß die Samenanlagen selbst verletzt wurden. Die Zellen des Nucells bilden dann Wucherungen, die in das Innere des Embryosacks hineinwachsen und sich reichlich teilen. „Wiederholt nahmen diese Sprossungen den Charakter von mehr oder minder ausgebildeten Nucellarembryonen an . . . Was sie besonders auszeichnet und typischen Eiembryonen so ähnlich macht, ist der Besitz eines Suspensors und die Quadranten- resp. Oktantenteilung im eigentlichen Embryo.“

Sie erinnern sehr stark an die monströsen Nucellarembryonen, die *Renner* bei der Bestäubung von *O. muricata* mit dem Pollen von *O. biennis* nachweisen konnte. Es ergeben sich auch deutliche anatomische Beziehungen zu den Nucellushaaren, die *Tischler* für die parthenokarpen Früchte von *Ananassa sativa* beschreibt. Hand in Hand mit der Entstehung dieser Nucellarembryonen geht nun eine parthenogenetische Entwicklung des Endosperms, dessen Kerne — der Erwartung gemäß — die haploide Chromosomenzahl aufweisen. Diese Versuche zeigen, daß tatsächlich durch Verwundung Nucellarembryonen hervorgerufen werden können. Somit besteht berechtigter Anlaß, daß auch die von *Cunningham* bei *Ficus Roxburgii* infolge eines Insektenstiches ausgelösten analogen Vorgänge in derselben Weise zu deuten sind: der Einstich bedingt die Produktion von Wundhormonen, die einen Anreiz zur Produktion von Embryonen bilden. Und von hier aus ist es nur ein Schritt weiter, um auch die gewohnheitsmäßige Nucellarembryonie, wie sie beispielsweise bei *Funkia*, *Citrus* und *Opuntia* beschrieben ist, in analoger Weise zu erklären. In den meisten derartigen Fällen wird hervorgehoben, daß der Ausbildung von Nucellarembryonen ein Absterben gewisser Zellen

<sup>4)</sup> Sitzb. d. preuß. Ak. d. Wiss., physik.-math. Kl. 40, 1921.



(des Eiapparats, der Antipoden oder des Nucellargewebes) vorangeht. Hier wäre anzunehmen, daß von den absterbenden Zellen „Nekrohormone“ gebildet werden, die wie die Wundhormone wirken. Daß die Nucellarembryonie nur eine beschränkte Verbreitung besitzt, wäre dann darauf zurückzuführen, daß nur manche Pflanzen auf die Einwirkung dieser Nekrohormone ansprechen, vielleicht deshalb, weil die Reaktionsschwelle höher liegt oder weil überhaupt das Vermögen, Nucellarwucherungen zu treiben — entsprechend wie die Fähigkeit, Kalluswucherungen zu erzeugen —, für die verschiedenen Pflanzengattungen spezifisch ist.

#### Vererbungsversuche mit buntblättrigen Sippen

Die fortgesetzten Vererbungsstudien über buntblättrige Sippen von *Correns* führen zum Nachweis immer weiterer Typen. Buntblättrigkeit ist eben ein Sammelbegriff und buntblättrige Sippen können in den verschiedensten Weise zustandekommen. In einer neuen Mitteilung<sup>1)</sup> werden folgende Fälle behandelt: 1. *Veronica gentianoides albocincta*. Es handelt sich hier um echte Weißrandigkeit, d. h. die Randzone der Blätter, Brakteen und Kelchzipfel ist vollständig weiß, die Mittelpartien dagegen sind normal grün ausgebildet. Es liegen also andere Verhältnisse vor als bei den bekannten albomarginaten Formen der Pelargonien, bei denen ein grüner Gewebekern in einer weißen Haut steckt; hier beruht die Weißrandigkeit darauf, daß am Aufbau des Blattrandes bloß die äußersten, hier weiß gefärbten Schichten teilnehmen, während die Mittelzone grün erscheint, weil die unter der weißen Haut liegenden grünen Schichten durchscheinen. Es ist durch diesen Unterschied im Aufbau bedingt, daß bei den albomarginaten Formen die weißen Zonen kontinuierlich miteinander im Zusammenhang stehen, während sie bei den albocincta-Formen von Blatt zu Blatt neu gebildet werden müssen. Eine Übertragung der albocincta-Eigenschaft auf die Nachkommen konnte nicht beobachtet werden. 2. Die albomarmorata- und albopulverea-Sippen. Bei beiden ist ein weißgrünes Fleckenmosaik vorhanden, nur daß es bei den pulverea-Sippen viel feiner ist als bei den marmorata-Formen. Diese Erscheinung wurde beobachtet bei *Ipomoea imperialis* (buntblättrige Kaiserwinde) und *Tropaeolum majus* (Kapuzinerkresse). Die Fleckung erstreckt sich auf Keim- und Laubblätter, während die Kelchblätter weiß und grün gestreift sind. Vererbungsversuche ergaben, daß sowohl die marmorata- wie die pulverea-Eigenschaft durch ein normal mendelegendes Gen vererbt werden, das sich gegenüber homogen-grün rezessiv verhält. Wir erhalten daher in  $F_1$  normalgrüne Individuen, in  $F_2$  Aufspaltung in 3 Grün : 1 Gefleckt. 3. *Mercurialis annua versicolor* und *xantha*. Bei den gelben *xantha*-Sippen des Bingelkrauts liegen folgende Verhältnisse vor. Es sind ein Faktor für Gelb ( $Z$ ) und 2 Faktoren für Grün ( $N_1$  und  $N_2$ ) vorhanden. Gelbblättrige Pflanzen haben die Erbformel  $ZZ n_1 n_1 n_2 n_2$ , grüne die Formel  $ZZ n_1 n_1 N_2 N_2$  oder  $ZZ N_1 N_1 n_2 n_2$  oder  $ZZ N_1 N_1 N_2 N_2$ . Grün dominiert also über Gelb. „Weil das typica-Grün durch einen oder durch zwei gleichsinnige Faktoren bedingt sein kann, spaltet der Bastard typica  $\times$  xantha im Verhältnis 3 : 1 oder 15 : 1.“ Da aber die *xantha*-Homozygoten schlechter keimen — weniger lebensfähig sind, so erscheint grün mit einem leichten Überschuß. Die *versicolor*-Sippe

ist dadurch gekennzeichnet, daß der grüne Farbstoff langsamer ausgebildet wird als der gelbe. Daher erscheinen die Blätter zunächst gelb, um erst schrittweise zu ergrünen. Die Kreuzung typica  $\times$  versicolor ergibt, daß Grün in  $F_1$  dominiert, und daß in  $F_2$  eine Spaltung in 3 typica : 1 versicolor auftritt. „Die versicolor-Eigenschaft ist also nach der Presence- und Absenctheorie durch das Fehlen eines einzigen Gens bedingt, das sonst die gleichzeitige Bildung der gelben und grünen Farbstoffe veranlaßt. Bei seiner Abwesenheit werden die grünen wesentlich später gebildet. Bei der *xantha*-Sippe ist die Bildung der grünen Farbstoffe ganz verhindert, bei der *versicolor*-Sippe nur hinausgeschoben.“ Stark.

## Astronomische Mitteilungen.

### Jubiläumsnummer zum hundertjährigen Bestehen der Astronomischen Nachrichten.

Anläßlich des hundertjährigen Bestehens der bekannten astronomischen Fachzeitschrift hat der Herausgeber seine Abonnenten mit einer Sondernummer beschenkt. Wie bei der im August in Potsdam veranstalteten Astronomerversammlung, über die schon in dieser Zeitschrift von anderer Seite berichtet wurde, ist auch hier der Wille zum internationalen Zusammenarbeiten zum Ausdruck gekommen. Ein kurzer Bericht darüber dürfte deswegen von Interesse sein.

Die 21 kurzen Aufsätze sind keine Originalarbeiten, sondern entweder kurze Zusammenfassungen aus anderen Arbeiten oder auch Wiederholungen aus ausländischen Zeitschriften. — Infolgedessen manchem Europäer, dem diese Quellen nicht zugänglich sind, von gewissem Wert. Im allgemeinen gibt das Heft einen Überblick darüber, auf was für Gebieten innerhalb der Astronomie jetzt gearbeitet wird. Auch eine Reihe von Tafeln sind den Aufsätzen beigegeben. Es mag genügen, nur die Namen der Autoren und die Überschriften der Aufsätze zu geben.

Nach einem kurzen Geleitwort des gegenwärtigen Herausgebers Prof. H. Kobold (Kiel) werden zwei Glückwunschtelegramme abgedruckt, beide aus Britisch-Südafrika von S. S. Hough (Kapsternwarte) und R. T. A. Innes (Johannesburg). Dann folgen die Aufsätze.

- G. Armellini (Pisa), Sopra le perturbazioni secolari del pianetino Hungaria.
- E. E. Barnard (Yerkes Observatory-U. S. A.), Observations of the companion of Sirius.
- O. Bergstrand (Upsala), Über die effektiven Wellenlängen der Milchstraßensterne.
- K. Bohlin (Stockholm), Bemerkungen zur Frage der Stellung der Spiralnebel im Raum.
- W. Dobereck (Sutton, England), Method of calculating double star orbits.
- A. Donner (Helsingfors), Die Sterndichte in der photographischen Zone der Sternwarte Helsingfors.
- A. S. Eddington (Cambridge, England), The Dynamical Equilibrium of a Stellar System.
- P. Guthnick (Berlin-Babelsberg), Einige Beobachtungstatsachen zum  $\delta$ -Cephei-Problem. Mit einer Tafel.
- J. G. Hagen (Vatikan-Sternwarte), Dunkle Nebel und Sternleeren. Mit einer Tafel (vgl. Naturwissenschaften 1921, Heft 46).
- A. Ivanoff. Kurzer Bericht über die Tätigkeit der Russischen Hauptsternwarte in Pulkova für den Zeitraum 1914—1921.

<sup>1)</sup> Sitzber. d. preuß. Ak. d. Wiss., VI, 1920, physik.-math. Kl.

- K. v. Kövesligethy* (Budapest), Ein astronomisches Gegenstück zur Seismologie.
- L. Krüger* (Potsdam), Beziehungen zwischen dem alten und neuen Zentralpunkt der preußischen Vermessungen.
- F. Küstner* (Bonn), Die Parallaxe der Nova Persei Nr. 2 von 1901 und Örtler von 79 schwachen Nachbarsternen nach Aufnahmen am Bonner photographischen 30-cm-Refraktor. Mit einer Tafel.
- Fr. Oom* (Lissabon), La Croix du Sud et ses émules.
- C. D. Perrine* (Cordoba, Argentinien), On Systematic Errors in Right Ascensions of our Present Catalogues.
- T. J. J. See* (Montgomery City U. S. A.), The Cause of Temporary Stars (mit einer Tafel).
- H. Shapley* (Harvard-College, Cambridge, Mass.), The Galactic Distribution of Stars of Spectral Type B. (mit einer Tafel).
- E. Strömberg* (Kopenhagen), Libration und periodische Ejektionsbahnen im allgemeinen Dreikörperproblem nebst einem Beispiel periodischer Bahnen im Vierkörperproblem mit 5 Figuren.
- A. A. Nijland* (Utrecht), Bemerkungen zum Cepheidenproblem (mit 4 Figuren).
- A. Wolfer* (Zürich), Die Sonnenfleckenhäufigkeit in den Jahren 1902—1920.
- H. v. Zeipel* (Upsala), Die Bestimmung der Massen der Sterne aus ihrer Verteilung in Sternhaufen (mit 1 Figur).

**Wave lengths and periodic changes of spectral type in the variable Star  $\iota$  Carinae** (*S. Albrecht*, *Astroph. Journal* 55, 161). Zum Verständnis der Abhandlung muß auf einige Eigenschaften der Veränderlichen vom  $\delta$ -Cephei-Typus, dem dieser Stern angehört, hingewiesen werden. Die Cepheiden zeigen einen periodischen Lichtwechsel mit einer Periodenlänge von  $\frac{1}{2}$  Tag bis etwa 1 Monat. Die Lichtkurve ist im allgemeinen unsymmetrisch. Die Radialgeschwindigkeit ist mit derselben Periode veränderlich. Das Minimum (rascheste Annäherung) fällt angenähert mit dem größten, das Maximum (rascheste Entfernung) mit dem kleinsten Lichte zusammen. Der Stern ist im Helligkeitsmaximum weißer als im Minimum, entsprechend ändert sich der „Spektraltypus“ periodisch — im Lichtmaximum besitzt der Stern ein „früheres“ Spektrum als im Minimum.

Hierzu bringt *Albrecht* neues Beobachtungsmaterial. In einer früheren Arbeit (*Astroph. Journal* 24, 333 (1906)) hatte Verfasser gezeigt, daß gewisse Linien im Sternspektrum beim Durchlaufen der Spektralserie ihre Wellenlänge fortschreitend ändern. Andre behalten dieselbe Wellenlänge durch alle Spektraltypen bei. *Albrecht* bestimmt mit diesen „unbeweglichen“ Linien die Radialgeschwindigkeitskurve von  $\iota$  Carinae und untersucht den Exzeß der anderen „beweglichen“ Linien. 32 solche Linien werden untersucht und bei 31 von ihnen ist der Gang der gleiche wie bei den Spektraländerungen, bei einer — nur wenig beweglichen — Linie zeigt sich entgegengesetztes Verhalten. So kann Verfasser umgekehrt aus den Exzessen auf die Veränderlichkeit des Spektraltyps quantitativ schließen, und zwar zunächst für jede einzelne Linie und dann für das Mittel aus allen 32. Letzteres ergibt eine Spektralschwankung von  $F_9$  bis  $G_9$ . Die

Kurve fällt wieder mit der Radial- und Lichtkurve angenähert zusammen, doch sind die Extreme der Radialgeschwindigkeit etwas verspätet.

Änderungen des Spektraltypus sind schon von *Shapley* sowie *Adams* und *Joy* untersucht worden. Diese fanden aus der Intensitätsänderung der Wasserstofflinien eine Amplitude der gleichen Größe, während aus dem Verhalten der übrigen Linien sich eine sehr viel kleinere Schwankung ergab. Die Änderung des Farbenindex entspricht durchaus der von *Albrecht* aus den Wellenlängen sowie von den genannten anderen Autoren aus dem Wasserstoffspektrum gefundenen Spektraländerungen. Der Lösung des Rätsels der Cepheiden, vor allem der Entscheidung, ob es Doppelsterne oder rotierende oder pulsierende einfache Sterne sind, bringt uns das sehr interessante neue Material *Albrechts* nicht näher.

**Gravity and Pressure of Radiation** (*H. Groot*, Veröffentl. d. K. Akad. Amsterdam 1921). Nachdem *Eddington* gezeigt hatte, welche entscheidende Rolle der Strahlungsdruck bei dem inneren Aufbau der Sterne spielt, und daß er im sogenannten Gigantenstadium einen beträchtlichen Teil der Gravitation ausbalanciert, wurde dieser Strahlungsdruck von verschiedenen Seiten für mannigfache Erscheinungen verantwortlich gemacht. Schon früher einmal hatten *Kapteyn* und *Campbell* unabhängig eine solche Möglichkeit zugelassen, um die von den weißen nach den roten Sternen wachsenden Geschwindigkeiten zu erklären. Der Verfasser macht es sich zur Aufgabe, theoretisch zu untersuchen, in was für Fällen überhaupt der Strahlungsdruck eine Rolle spielen, d. h. von der Größenordnung der Gravitation werden kann. Er findet:

1. Auf die Wechselwirkung zwischen einem Stern und einem Nebel kann der Strahlungsdruck keinen nennenswerten Einfluß ausüben. Selbst wenn man annimmt, daß der Nebel alle Strahlung absorbiere (was sicher falsch ist), bleibt die Größe des Strahlungsdruckes unter  $\frac{1}{1000}$  der Gravitation.

2. Zwischen einem Nebel von Sonnenmasse, der bis zur Uranusbahn ausgedehnt ist, und einem in Neptunsentfernung kreisenden Planeten von Neptunsmasse und 100fachem Neptunsdurchmesser kann der Strahlungsdruck — wenn alle Strahlung absorbiert wird — die Gravitation kompensieren.

Die Größe des Absorptionskoeffizienten ist aber schwer zu übersehen.

Dieser Fall bedeutet etwa die Wechselwirkung zwischen einem dünnen und einem sehr dichten Nebel (Sonnennebel und Neptunnebel).

3. Im Falle zweier Nebel oder mehrerer Kondensationszentren in einem Nebel wird aber der Strahlungsdruck immer eine entscheidende Rolle spielen. Dies um so mehr, wenn die beiden Nebel das gleiche diskontinuierliche Spektrum aussenden und somit auch für diese Strahlung absorptionsfähig sind.

Zusammenfassend kann man sagen, daß der Strahlungsdruck bei der Wechselwirkung zwischen kosmischen Massen eine um so größere Rolle spielen wird, je kleiner das Produkt ihrer Dichten ist.

Diese einfache Untersuchung *Groots* dürfte für viele astrophysikalische und kosmologische Betrachtungen von großer Bedeutung sein. *Bottlinger*.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

---

Heft 4. (Seite 65—104)

27. Januar 1922.

Zehnter Jahrgang.

---

**DAVID HILBERT**

ZUR FEIER

SEINES SECHZIGSTEN GEBURTSTAGES

# FELIX KLEIN

## GESAMMELTE MATHEMATISCHE ABHANDLUNGEN

In 3 Bänden mit einem Registerband

**Bd. I.** Herausgegeben von R. Fricke u. A. Ostrowski.

(Von F. Klein mit ergänzenden Zusätzen versehen.)

Mit 1 Bildnis. (XII, 612 S.). 1921. Preis M. 186.—

Vorrede zur Gesamtausgabe.

Liniengeometrie — Grundlegung der Geometrie — Zum Erlanger Programm (einschließlich Aufsätze über Relativitätstheorie).

### **Bd. II** (*Unter der Presse*)

Anschauliche Geometrie (Realitätsverhältnisse algebraischer Gebilde, Analysis Situs, Erkenntnistheoretisches).  
— Zur Auflösung algebraischer Gleichungen (Die regulären Körper, das Ikosaeder und die Gleichungen fünften Grades, allgemeine Betrachtung endlicher Gruppen linearer Substitutionen und der zugehörigen Formenprobleme).  
— Physikalisches (Reihenentwicklungen, Hamiltonsche Optik, Kreiseltheorie, Mechanik der Kontinua).

### **Bd. III** (*in Vorbereitung*)

Funktionentheorie (Riemannsche Flächen, elliptische Funktionen, insbes. Modulfunktionen, automorphe Funktionen, Abelsche Funktionen, lineare Differentialgleichungen).

Der **Registerband** soll enthalten: Gesamtverzeichnis der Veröffentlichungen, Verzeichnis der von F. Klein gehaltenen Vorlesungen etc., Sachregister, Namenregister.

---

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9







*Hilbert*



## DAVID HILBERT

ZUR FEIER

SEINES SECHZIGSTEN GEBURTSTAGES

## Inhalt:

|   | Seite |
|---|-------|
| David Hilbert. Von <i>Otto Blumenthal, Aachen</i> . . . . .   | 67    |
| Der Algebraiker Hilbert. Von <i>O. Toeplitz, Kiel</i> . . . . .   | 73    |
| Hilberts geometrisches Werk. Von <i>M. Dehn, Frankfurt a. M.</i> . . . .  | 77    |
| Hilbert als Analytiker. Von <i>R. Courant, Göttingen</i> . . . . .  | 83    |
| Hilbert und die Physik. Von <i>M. Born, Göttingen</i> . . . . .   | 88    |
| Die Bedeutung Hilberts für die Philosophie der Mathematik. Von <i>Paul Bernays, Göttingen</i>   | 93    |
| Verzeichnis der bisherigen Publikationen von David Hilbert (nebst kurzen Inhaltsangaben)<br><i>Von Karl Siegel, Göttingen</i> . . . . . | 99    |



## David Hilbert<sup>1)</sup>.

Von Otto Blumenthal, Aachen.

Auf dem 2. Internationalen Mathematikerkongreß in Paris im Jahre 1900 fiel *David Hilbert* die Aufgabe zu, als Vertreter der deutschen Mathematik einen allgemeinen Vortrag zu halten. Dieser Vortrag war außergewöhnlich und ist kennzeichnend für *Hilberts* Arbeitsweise und für seine Persönlichkeit. Das übliche ist, daß in diesen allgemeinen Vorträgen die Redner einen zusammenfassenden Überblick geben über ein Einzelgebiet, auf dem sie sich betätigt haben. *Hilberts* Thema lautete: „Mathematische Probleme“. Die Mathematik braucht jederzeit eine Anzahl großer Probleme, an denen sie ihren Fortschritt orientieren und prüfen kann. *Hilbert* gibt eine Aufzählung derjenigen Fragen, die ihm damals den Ehrentitel „Probleme“ zu verdienen schienen. Solche Fragen müssen schwierig sein, aber doch angreifbar, sie müssen vor allem so klar gestellt sein, daß „jeder Mann auf der Straße“ sie begreifen kann. Ihre Lösung oder auch nur die ernsthafte Beschäftigung mit ihnen belohnt durch die Entdeckung und Entwicklung neuer allgemeiner Methoden und Gesichtspunkte. Sehr bezeichnend ist, was über die Art gesagt wird, wie ein Problem anzugreifen sei. Es gibt drei Fälle: häufig ist die Frage zu speziell gestellt und gewinnt ihre wahre Einfachheit erst, wenn man sie als Glied eines allgemeineren Fragenkomplexes erkennt — hier denkt wohl jeder sogleich an *Hilberts* Beweis der Endlichkeit des Invariantensystems; vielfach hat man, im Gegensatz hierzu, zu hoch gegriffen, hat allgemein gefragt, bevor man sich noch über die in der Problemstellung enthaltenen Einzelfragen völlig klar war: dann besteht der Weg zur Lösung darin, daß man zunächst diesen auf den Grund geht; schließlich kann das Problem überhaupt falsch gestellt sein, dann versuche man den Unmöglichkeitsbeweis. Wenn aber die Lösung eines Problems nutzbringend für die Wissenschaft sein soll, dann muß sie vollständig sein. Zur Vollständigkeit gehört in erster Linie die Strenge, d. h. die Entwicklung der Lösung mit Hilfe einer end-

lichen Anzahl von Anwendungen eines gegebenen Axiomensystems. Diese Strenge ist keine Feindin der Einfachheit, und Einfachheit ist die zweite Forderung, die an eine vollständige Lösung zu stellen ist. Und nun folgt die Aufzählung und Erläuterung von 23 Problemen. Sie sind gewählt aus allen Teilen der Mathematik, von der Mengenlehre und Zahlentheorie bis zur Mechanik und theoretischen Physik. Es wird besonders betont, daß die Zusammenwirkung aller dieser Teilgebiete notwendig sei, um die Mathematik im ganzen zu fördern, und daß auch in allen diesen Gebieten vollständige Lösungen möglich seien. Unter den Problemen finden sich manche, die im Jahre 1900 bereits klassisch oder wenigstens einem größeren Kreis von Fachgenossen bekannt waren, so das Cantorsche Kontinuumproblem, das Problem der Uniformisierung, das Primzahlproblem, das Dirichletsche Prinzip; viele andere sind von *Hilbert* neu aufgestellt, vor allem die Frage nach den allgemeinen Reziprozitätsgesetzen, axiomatische Fragen (Widerspruchslosigkeit der arithmetischen Axiome, Aufstellung der Axiome der Physik), und wichtige Probleme der Elementargeometrie (Zerlegbarkeit inhaltsgleicher Tetraeder, Geometrien, in denen die Geraden die kürzesten sind). Das Fermatsche Problem findet sich nicht unter ihnen, und gerade das ist bedeutsam für *Hilberts* Auffassung der Probleme als Leitsterne der künftigen Entwicklung. Das Fermatsche Problem hat seiner Ansicht nach seine Dienste bereits geleistet, als es *Kummer* zum Studium der algebraischen Zahlkörper und zur Einführung der Ideale anregte.

*Hilbert* ist der Mann der Probleme. Er sammelt und löst vorhandene, er weist neue. Sein Lebensgang läßt sich an Hand der Probleme entwickeln. Die Geburt eines Menschen ist Zufall, seine Entwicklung sein eigenes Werk. Geboren ward der Mathematiker *Hilbert* aus dem Schoße der damals allgewaltigen Invariantentheorie. Bei ihr fand er sein erstes Problem, den Satz, daß alle Invarianten eines Formensystems sich durch eine endliche Anzahl unter ihnen ganz und rational darstellen lassen. Nachdem dem Sechszwanzigjährigen 1888 ein einfacher Beweis in einem schon früher durch *Gordan* und *Mertens* mit Hilfe schwieriger Rechnungen erledigten Sonderfall gelungen war, kam 1890 der großartige allgemeine Beweis, der das Problem mit dem allgemeinen Fragenkomplex der Modultheorie verknüpfte und dadurch zur Lösung brachte. Aber die Lösung war noch nicht vollständig: die End-

<sup>1)</sup> *David Hilbert* ist geboren 23. Januar 1862 in Königsberg i. Pr., wo sein Vater Amtsgerichtsrat war, besuchte das Friedrichs-Kolleg und machte Herbst 1880 im Wilhelms-Gymnasium das Abiturium. Studierte in Königsberg, hauptsächlich bei *Lindemann* und *Hurwitz*, in Heidelberg bei *Fuchs*, und promovierte 1885 bei *Lindemann*. Ging dann nach Leipzig zu *Klein* und Paris zu *Hermite*. Sommer 1886 habilitierte er sich in Königsberg, wurde Herbst 1892 Extraordinarius, Herbst 1893 Ordinarius daselbst. Frühjahr 1895 ging er nach Göttingen. Rufe nach Leipzig (1898), Berlin (1902), Heidelberg (1904), Bern (1919) lehnte er ab.

lichkeit des Invariantensystems war bewiesen, aber kein Mittel war gegeben, das endliche System wirklich herzustellen. Es bedurfte einer mühevollen Arbeit, eines tiefen Eindringens in die Feinheiten der Modulsysteme, bis 1893 die letzte Forderung der Vollständigkeit erfüllt war.

Und damit hatte sich auch ein neues großes Problem ergeben. *Kroneckers* Modulsysteme hatten zur Zahlentheorie hinübergewinkt. Im Verkehr mit den Freunden *Hurwitz* und *Minkowski* waren die Grundlagen der Idealtheorie geklärt worden. Noch 1893 entstand *Hilberts* einfacher Beweis der Zerlegung in Primideale, es stellten sich die Fragen der Relativkörper, besonders der Relativ-Abelschen Körper, und der Reziprozitätsgesetze. Was hier von *Hilbert* geschaffen wurde, hat tiefste Wirkung gehabt. Kodifiziert in dem gewaltigen „Bericht über die Theorie der algebraischen Zahlkörper“ von 1897 hat es die neuere Entwicklung der Zahlentheorie recht eigentlich begründet.

Nun aber geschieht etwas Seltsames. *Hilbert*, bis dahin scheinbar der Typus des Arithmetikers und Algebraikers, sieht sein Ziel auf diesen Gebieten erreicht und wendet sich so vollkommen von ihnen ab, daß er kaum noch je auf sie zurückgekommen ist. Im Jahre 1891 hatte *Wiener* auf der Naturforscherversammlung in Halle einen Vortrag über „Grundlagen und Aufbau der Geometrie“ gehalten, in dem er namentlich das Verhältnis des Pascalschen zum Desarguesschen Satze besprach. *Hilbert* hat mir erzählt, daß ihm dieser Vortrag eine solche Anregung zur Beschäftigung mit den Axiomen der Geometrie gegeben habe, daß er ihr gleich auf der Rückfahrt in der Eisenbahn nachgegangen sei: wohl ein Beweis, daß die Einstellung auf axiomatische Betrachtungsweise schon früher bei ihm vorhanden war. Eine zweite Quelle der Anregung waren *Minkowskis* geometrische Ideen. Der Reiz des Gebietes der Elementargeometrie aber lag für *Hilbert* darin, daß er hier das einfachste Beispiel sah, an dem er sein aus der Zahlentheorie abstrahiertes Ideal eines vollständigen Beweisgebäudes außerhalb der Lehre von den ganzen Zahlen durchkonstruieren konnte, als Gegenbeispiel gegen die von *Kronecker* vertretene und von *Hilbert* immer leidenschaftlich bekämpfte Auffassung, daß aller Mathematik, die sich nicht unmittelbar an die ganze Zahl anknüpfen lasse, ein unreinlicher Erdenrest anhafte. Im Wintersemester 1898/99 hielt *Hilbert* seine berühmte gewordene Vorlesung über „Elemente der Euklidischen Geometrie“, zur Feier der Enthüllung des Gauß-Weber-Denkmal in Göttingen, im Juni 1899 veröffentlichte er seine „Grundlagen der Geometrie“, die seither, im Hauptteil unverändert, in vier Auflagen erschienen sind und eben wieder vor einer neuen Auflage stehen. Die Bedeutung dieser Schrift, der Grund des Zaubers, den sie ausgeübt hat und noch ausübt, besteht in ihrem systematischen, lückenlosen Aufbau. Un-

abhängigkeitsbeweise für gewisse geometrische Axiome lagen bereits vor, z. B. im klassischen Falle des Parallelenaxioms, die tiefgehenden „Zwischen“-Axiome waren von *Pasch* erkannt und analysiert worden. Neu aber war ein vollständiges System, in dem alle Axiome auf ihre Unabhängigkeit und Widerspruchslosigkeit untersucht werden, in dem von allen geometrischen Grundlehren (Ähnlichkeitslehre, Inhaltslehre, Desargues und Pascal, Pythagoras u. a.) die Abhängigkeit von den Axiomen und die gegenseitige Beziehung im einzelnen untersucht und bis zum Ende aufgeklärt wird. Die Bedeutung der „Grundlagen der Geometrie“ geht aber viel weiter. Eine neue logische Methode ist durch sie begründet worden, die „axiomatische“ Methode der impliziten Definition von Dingen durch die Grundgesetze, die sie verknüpfen. Bis weit hinein in die Philosophie reichen schon jetzt die Auswirkungen dieser Methode. Auf *Hilberts* eigenes Werk in dieser Richtung kommen wir noch zu sprechen. Denn die Axiomatik ist ein so wesentlicher Teil seines Ich, daß sie ihn als Problem immer weiter begleitet und geleitet hat.

Zunächst aber, nach den Grundlagen der Geometrie, ist es die Begründung der Variationsrechnung und ihrer Anwendungen, die ihm als Ziel vor Augen steht. Von der Zahlentheorie über die Elementargeometrie hierher führt erkennbar ein Anstieg vom Methodisch-Leichterem zum Methodisch-Schwereren. Die Variationsrechnung soll das Mittel liefern, die mühsamen Grenzwertbetrachtungen der Analysis zu beseitigen, indem ein einziger Existenzbeweis durch Grenzwertbildung, der Beweis der Existenz der Lösung des regulären Variationsproblems, die vielen Einzelbetrachtungen ad hoc überflüssig machen soll. Das Problem ist klassisch, seitdem *Riemann* seine Theorie der Abelschen Funktionen auf dem Dirichletschen Prinzip aufgebaut hat. Aber es galt als unangreifbar. Hier ist es wohl die in dem Vortrag über „Mathematische Probleme“ erwähnte Methode der genauen Durcharbeitung der einfachsten Fälle, die *Hilbert* ergriffen hat. Im Anschluß an *Weierstraß* hat er die Grundlagen der Variationsrechnung, die mühevollen und vielfach durch unnötige Beschränkungen komplizierten Betrachtungen beim einfachen Problem und bei Nebenbedingungen, aufs äußerste vereinfacht und übersichtlich gemacht. Dann gelang in der Festschrift zur Feier des 150jährigen Bestehens der Göttinger Gesellschaft der Wissenschaften im Jahre 1901 der erste Beweis der Existenz der Abelschen Integrale mit Hilfe des Dirichletschen Prinzips nach einer völlig allgemeinen Methode, die später noch auf manche verwandte Fragen der Funktionentheorie angewandt wurde.

Hier lenkt zum ersten und vielleicht zum einzigen Male ein günstiger Zufall, eine Anregung von außen, *Hilberts* Schaffen in neue Bahnen. Das Ziel bleibt das gleiche, die Begründung der Analysis auf einem Minimum von Existenzbewei-



sen, aber zu der Variationsrechnung tritt eine neue Methode. Im Jahre 1900 hatte *Fredholm* die Auflösung der linearen Integralgleichung gelehrt und damit den wahren Grund vieler herrlicher, aber schwieriger Entwicklungen *Poincarés* über die Randwertaufgaben der mathematischen Physik aufgedeckt. Sofort erkannte *Hilbert*, daß er hier den mächtigen Hebel in der Hand habe, mit dem, in Verbindung mit der Variationsrechnung, sich die Analysis regieren lasse. Es ist ein einziger Grenzübergang, der von einem System von  $n$  linearen Gleichungen mit  $n$  Unbekannten zu einem System unendlich vieler linearer Gleichungen mit unendlich vielen Unbekannten — in umfassendster Weise ausgeführt mittels des Begriffs der vollstetigen Bilinearform von unendlichvielen Veränderlichen —, der viele lang erstrebte Früchte auf einmal zu pflücken gestattet, besonders die Existenz der Eigenwerte, des „Spektrums“, und die Entwickelbarkeit beliebiger Funktionen nach den Eigenfunktionen liefert. Und auch das Riemannsche Problem der linearen Differentialgleichungen mit gegebenen Verzweigungen und gegebener Gruppe, das der reinen Variationsmethode widerstanden hatte, mußte sich der Gewalt der Integralgleichungen fügen.

Variationsrechnung und Integralgleichungen sind heute die unbedingt herrschenden Methoden in der Funktionentheorie, die Literatur ist fast unübersehbar geworden, das Wort „Hilbertschule“ bezeichnet besonders den Kreis der Jünger auf diesem Arbeitsfelde, und *Hilberts* Darstellung der Integralgleichungen, wie er sie in seinen 6, später als Buch zusammengefaßten Noten „Grundzüge einer allgemeinen Theorie der linearen Integralgleichungen“ niedergelegt hat, ist bis auf die Bezeichnungen und die Kunstausdrücke maßgebend geblieben.

Die Veröffentlichungen über Integralgleichungen fallen, mit Ausnahme der 6. Note vom Jahre 1910, in die Jahre 1904 bis 1906. Mit diesen Jahren schließt in *Hilberts* Leben eine Epoche ab, die sachlich als die rein-mathematische, ihrem Wesen nach als die heroische bezeichnet werden kann, die Epoche des Ringens mit den alten mathematischen Problemen, die erst fallen mußten, bevor der Weg nach außen frei war. Im Jahre 1905 wurde zum erstenmal der Bolyai-Preis der Ungarischen Akademie erteilt, der bestimmungsgemäß „dem Autor der hervorragendsten mathematischen Untersuchungen der letzten 25 Jahre“ zuzufallen hat. Die Kommission mit *Darboux* als Präsidenten und *Klein* als Referenten nannte als einzige in Betracht kommende Kandidaten *Hilbert* und *Poincaré*, erkannte den Preis *Poincaré* zu, „dessen Untersuchungen bereits im Jahre 1879 einsetzen und sozusagen einen Kreislauf um das Gesamtgebiet der Mathematik vollendet haben“, beschloß aber gleichzeitig, in ihrem Berichte der Arbeiten *Hilberts* ebenso ausführlich zu gedenken wie der Arbeiten *Poincarés*.

„Denn sie würdigt die universelle Bedeutung derselben in vollem Maße und ist überzeugt, daß sie je länger, je mehr zu einer Rolle von größter Bedeutung berufen sind.“ Ich bin damals von *Klein* zu einer sehr eingehenden Besprechung über die Vorarbeiten zu diesem Gutachten herangezogen worden und erinnere mich einer früheren Fassung dieses letzten Satzes, die prophetischer klang, etwa so: „*Hilbert* wird noch ein ebenso umfassendes Gebiet umspannen wie *Poincaré*.“ Man wird ex eventu bedauern, daß diese Fassung durch eine farblosere ersetzt worden ist. Denn gerade zu dieser Zeit gab *Hilbert* dem Trieb nach extensiver Forschung Lauf, der ihn noch heute beherrscht. Er gehört seitdem den mathematischen Anwendungen zu, in demselben Umfang, wenn auch in anderer Richtung als *Poincaré*.

Nur noch einmal ist er zu einem rein-mathematischen Problem zurückgekehrt, um es einer unerwarteten Lösung entgegenzuführen, und zwar zu einem, dessen er in seinem Pariser Vortrage nicht gedacht hat. Der von *Waring* aufgestellte Satz, daß sich jede ganze Zahl als Summe einer begrenzten (nur von dem Exponenten abhängigen) Anzahl  $n$ ter Potenzen ganzer Zahlen darstellen lasse, war im Jahre 1908 Gegenstand verschiedener Erörterungen und glücklicher Entdeckungen gewesen, die die Erkenntnis wesentlich gefördert hatten. Insbesondere war man auf gewisse Identitäten aufmerksam geworden, die ein Vielfaches der  $n$ ten Potenz einer Summe von Quadraten durch eine Summe von  $(2n)$ ten Potenzen linearer Funktionen mit ganzen Koeffizienten ausdrücken. Aber erstens fehlten die Mittel zur allgemeinen Aufstellung dieser Identitäten, zweitens hatte man sie nur dazu benutzt, um den Waringschen Satz von  $n$  auf  $2n$  zu übertragen. Mittels einer Integralmethode, die durch ihre anscheinende Selbstverständlichkeit an den Beweis für die Endlichkeit des Invariantensystems erinnert, stellt *Hilbert* zunächst die gesuchten Identitäten allgemein her, und dann zeigt er auf einem höchst kunstvollen Wege, daß sie nicht allein zur Übertragung von  $n$  auf  $2n$ , sondern zum unmittelbaren Beweise des lang umstrittenen Waringschen Satzes dienen. Diese Arbeit, eine der merkwürdigsten, die er geschrieben, hat *Hilbert* am 6. Februar 1909 dem wenige Wochen zuvor verstorbenen *Minkowski* zum Andenken geweiht.

Wenn ich die rein-mathematische Epoche die heroische genannt habe, muß ich wohl die folgende als die klassische bezeichnen. Aber sie ist alles weniger als klassisch in dem Sinne abgeklärter Ruhe. *Goethe* spricht einmal zu *Eckermann* von gewissen Naturen, die er „genial“ nennt, und mit denen es „eine eigene Bewandnis“ habe: „sie erleben eine wiederholte Pubertät, während andere Leute nur einmal jung sind“. Die Jahre, von etwa 1904 an, als *Hilbert* im Verein mit *Minkowski* zur Eroberung der Physik auszog,

waren seine zweite Jugend. Mit dem Feuereifer und der rücksichtslosen Anspannung eines jungen Studenten stürzte er sich auf eine Wissenschaft, von der ihm bis dahin nur die großen Linien, Einzelheiten wenig bekannt waren. So groß war die Anstrengung, daß zum ersten und einzigen Mal seine Gesundheit längere Zeit versagte. *Hilberts* Ziel ist die Axiomatik der Physik, d. h. die Aufstellung eines Komplexes von Grunderscheinungen, auf den sich alle beobachteten physikalischen Tatsachen durch lückenlose mathematische Deduktion zurückführen lassen. Es ist der einzige Weg, auf dem wir zu einem geschlossenen physikalischen Weltbilde gelangen können. Es ist auch ein Weg, der durch Aufdeckung von Widersprüchen und durch das Streben nach Zusammenfassung zu neuen Entdeckungen führen kann und muß. Das erste Goldkorn bei dieser gemeinsam mit *Hilbert* unternommenen Tiefbohrung hat *Minkowski* gefunden, seine Relativitätstheorie. Die ungeheure Schwierigkeit der Aufgabe läßt sich an zwei Beispielen klar machen. Schon in der gewöhnlichen Mechanik besteht Streit über die Tragweite der Variationsprinzipien, wenn der Bewegung differentielle („nicht-holonomie“) oder in Ungleichungen bestehende Nebenbedingungen vorgeschrieben sind. Die Überlegungen ad hoc, die man zur Erledigung von Sonderfällen braucht, müssen in *Hilberts* System ausgemerzt werden. Noch ganz anders liegt es bei dem zweiten Beispiel, der kinetischen Gastheorie oder, allgemeiner, jeder atomistischen Betrachtung, die durchschnittliche Gesetze über die Bewegung vieler Einzelteilchen aufstellt. Hier ist bei den wichtigsten Behauptungen noch unklar, wie, oder ob überhaupt, sie mathematisch auseinander und den zugrunde liegenden Hypothesen folgen. Auf diese ungeklärten Sachverhalte, deren Aufhellung ein schwierigstes, eigentlich mathematisches Problem ist, bezieht sich *Hilberts* Paradox: „Die Physik ist ja für die Physiker viel zu schwer.“ Es war seine erste Aufgabe, in einfachster Form die mathematischen Sätze herauszupräparieren, an deren Beweisen es noch fehlt, die Beweise selbst der Zukunft überlassend, und in dieser Weise systematisch alle Gebiete der Physik durchzumustern. Weniges von der geleisteten Arbeit ist an die Öffentlichkeit gedrungen. In Vorlesungen vorgetragen, wird es nur in den Ausarbeitungen in wenigen Exemplaren aufbewahrt. Die einzigen gedruckten Ergebnisse dieser ordnenden Tätigkeit sind die „Begründung der kinetischen Gastheorie“ und die „Begründung der elementaren Strahlungstheorie“, die beweisen, welche starken mathematischen Hilfsmittel *Hilbert* in den Dienst der Physik gestellt hat. Vor allem aber eines, was nicht genug hervorgehoben werden kann: es galt und gilt für *Hilbert*, fortdauernd in der Physik zu lernen, „alle neuen Linien ihres jetzt so wechselvollen Antlitzes in sich aufzunehmen und

das Vergängliche von dem Dauernden kritisch zu trennen. *Hilbert* wurde wirklich ganz Physiker. Die berühmte Göttinger „Gaswoche“, wo bedeutendste Forscher über die neuesten Entwicklungen der Atomphysik vortrugen, ist sein Werk. Und es soll nicht vergessen werden, daß er als erster in seinen „Grundlagen der Physik“ die Einsteinsche allgemeine Relativitätstheorie in einem wesentlichen Punkte weiter gebracht hat: die Einführung des Hamiltonschen Prinzips und der Weltfunktion zur Verknüpfung der Gravitation und der elektromagnetischen Erscheinungen stammt von ihm.

Neben den Axiomen der Physik stehen als zweites Kolossalunternehmen die Axiome der Arithmetik. Auch sie gehören den „Anwendungen“ der Mathematik an. Es ist eine Anwendung edelsten Sinnes, von unüberschbarer Tragweite: die in der Mathematik geschliffenen und erprobten Methoden der Folgerung werden angewandt zur Durchleuchtung eines übergeordneten Gebietes, der Erkenntnistheorie. Die Axiome der Arithmetik erscheinen in dem Pariser Vortrag an hervorragender Stelle unter den Problemen, auf dem Heidelberger Kongreß im Jahre 1904 trug *Hilbert* einen ersten Entwurf der Ausführung vor, der unverstanden blieb. Es handelt sich um eine völlig neue Fragestellung. Wohl sind die Axiome der Arithmetik seit langem aufgestellt, wohl ist ihre gegenseitige Unabhängigkeit erwiesen, aber es fehlt an dem Wesentlichsten: an dem Beweis ihrer Vereinbarkeit, ihrer Widerspruchslösigkeit. Bei den Axiomen der Geometrie wird der Beweis der Widerspruchslösigkeit so geführt, daß man den geometrischen Gebilden in geeigneter Weise Zahlen zuordnet und zeigt, daß die nach den Axiomen zwischen ihnen bestehenden Beziehungen auf die gewöhnlichen Zahlgesetze hinauskommen, mit anderen Worten, man nimmt für die Widerspruchslösigkeit der geometrischen Axiome die Autorität eines höheren Gebietes, der Arithmetik, in Anspruch. Aber für die Arithmetik selbst gibt es keine deckende Autorität. Die Berufung auf die Erfahrung, die die widerspruchslöse Existenz der ganzen Zahlen zeige, ist ein Zirkelschluß, auch wenn uns nicht nach ungeahnten Enttäuschungen in der Mengenlehre an der Widerspruchslösigkeit unseres Denkens in Zahlen bange geworden wäre. Und es handelt sich um ein höchstes Gut: mit der Widerspruchslösigkeit der arithmetischen Axiome, der Zahlgesetze, steht und fällt unser ganzer Zahlbegriff, existieren oder verschwinden unsere Zahlen. Um aber die Widerspruchslösigkeit zu beweisen, gibt es nur den direkten Weg: es muß gezeigt werden, daß durch keine endlichfache Anwendung der Zahlgesetze aus einer Behauptung *A* die gegenteilige Behauptung Nicht-*A* gefolgt werden kann. Wir sind bei *Goethes* „Müttern“, den Göttinnen, die „lehr in Ewigkeit“ thronen. Es haben wohl nur wenige Fachgenossen glauben wollen, daß



*Hilbert* auf diesem Felsen würde Fuß fassen können. Aber im vorigen Jahre (1921) hat er zum erstenmal in Vorträgen, die er in Hamburg gehalten, ein Axiomensystem vorweisen können, dessen Widerspruchslosigkeit aus ihm selbst, ohne Zurückführung auf ein höheres Gebiet, beweisbar ist. So wie der Chemiker *Emil Fischer* die Konstitution der Eiweißkörper dadurch nachwies, daß er an Stelle dieser atomreichen Verbindungen atomärmere mit eng verwandten Eigenschaften synthetisch darstellte, so erweist der Mathematiker die Möglichkeit der inneren Begründung des Zahlsystems zunächst nicht an diesem komplizierten Gebilde selbst, sondern an einem weniger gliederreichen und dadurch zugänglicheren System: und die Leistung ist von gleicher Größenordnung wie die *Emil Fischers*.

Ich möchte diesen Überblick über *Hilberts* wissenschaftliche Leistungen mit einer Bitte an ihn schließen. Er hat in seiner klassischen Periode, ebenso wie *Weierstraß* in der seinigen, in der Hauptsache für sich und seinen Göttinger Schülerkreis gearbeitet, wenig an die Öffentlichkeit gebracht: Die Menge des Neuen, das zu verarbeiten war, mag davon ebenso viel die Ursache sein wie die Scheu, etwas Unvollkommenes, Unvollständiges herauszugeben. Möge er demgegenüber bedenken, welche Fülle von Problemen uns seine bisherigen Ergebnisse erschließen, von Problemen, zu deren Bewältigung Massarbeit gehört, und uns deshalb seine Erkenntnisse wenigstens in der anspruchlosen und wenig zeitraubenden Form vervielfältigter Vorlesungshefte zugänglich machen!

*Hilberts* Leistungen haben wir besprochen. Wie ist nun der Mensch *Hilbert*? der wissenschaftliche und der „menschliche“ Mensch? Was an den Leistungen auffällt, das ist die merkwürdige Stetigkeit des Fortschreitens, wo an jedes gelöste Problem sich gleich das nächste anschließt. Es sieht fast nach Pedanterie aus, man möchte *Wilhelm Busch* zitieren: „Wohl besorgt ist dieses nun. Julchen kann was anders tun!“ Damit verwandt mag auch die Ansicht sein, die in *Hilbert* das Urbild des reinen Logikers, den Sohn der Stadt der reinen Vernunft sieht. Ich glaube, daß *Hilbert* selbst anders beurteilt zu werden wünscht. Je länger, je mehr erkenne ich in ihm den philosophischen Menschen, der, nachdem er sich einmal seiner Kraft bewußt wurde, unwandelbar ein höchstes Ziel im Auge hat und auf wohlüberdachtetem Wege ihm zustrebt: das Ziel eines einheitlichen, geschlossenen Weltbilds, wenigstens im engeren Bereich der exakten Wissenschaften. Es mag sein, daß dem Mathematiker überhaupt dieser Drang innewohnt, die Wissenschaft der unendlichen Verknüpfungen ermutigt dazu. Aber der Drang hilft nichts, wenn ihn nicht ein großer ordnender Gesichtspunkt leitet. Diesen hat *Hilbert* in der Axio-

matik gefunden. Es scheint mir zweifellos, daß er für die Nachwelt immer der Axiomatiker sein wird; der Mann, der der Logik eine neue Ausdrucksform verliehen hat. Und es gehört noch mehr dazu: eine rücksichtslose Ehrlichkeit gegen sich selbst, ein schonungsloses Aufspüren und Ausscheiden des Halbverstandenen oder, bei einigen Glücklichen, eine natürliche Naivität des Denkens, die sich von keiner Autorität, auch nicht von der der Vergangenheit, etwas einreden läßt. Zu diesen Glücklichen, glaube ich, gehört *Hilbert*: und zwar nicht nur in wissenschaftlicher Hinsicht. Und noch etwas ist not: ein Wille; und wer einmal den *Hilbertschen* Willen hat kennen lernen, der weiß ihn zu achten — und gelegentlich auch zu fürchten. Immer bestimmt, meist gemäßigt und mild, mitunter aber auch jäh und leidenschaftlich, leitet er Leben und Arbeit. *Hilbert* hat sich genau die Lebensbedingungen geschaffen und in allem Wechsel der Zeit erhalten, die seiner Arbeit am zuträglichsten sind. Er ist Individualist und seine Leistungen geben ihm das Recht dazu. *Hilbert* ist kein „Organisator“, im Gegenteil sind ihm Geschäfte beschwerlich. Aber *Klein*, der große Organisator der Göttinger mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät, erkennt freudig an, wieviel von seiner Größe Göttingen nicht nur der wissenschaftlichen Bedeutung, sondern gerade dem Willen *Hilberts* verdankt, dem Willen, dessen hohen Zielen nachgebend, das Preussische Ministerium im Jahre 1902 eine neue Professur für *Minkowski* bewilligte, und der sich bei allen weiteren Besetzungen durchdacht, energisch und glücklich geäußert hat. *Hilbert* in der Diskussion wissenschaftlicher Gegenstände ist lebhaft, mitreißend, in der Abweisung verfehlter Gedanken schroff, in der Disputation über nicht beweisbare, sondern nur gefühlsmäßig entscheidbare Dinge ist er leidenschaftlich bis zur Heftigkeit. Sein „Aber nein!“ ist bekannt. *Hilbert* bei der Arbeit ist eine merkwürdige Erscheinung. Äußerlich ist nicht viel zu merken, man trifft ihn vielleicht bei gärtnerischer Beschäftigung. Aber die ersten Worte zeigen, daß er mit größtem Eifer an einem Problem schafft. Wenn nicht der Besuchende ein wichtiges eigenes Anliegen mitbringt, kommt das Gespräch sofort auf *Hilberts* Gedanken und führt die Untersuchung fort. Bei einer Unterhaltung über die Charaktereigenschaften verschiedener großer Männer hob *Hilbert* nachdrücklich hervor, daß sie ihren Erfolg ganz wesentlich ihrem Fleiße zu danken hätten. Ich halte ihn selbst für leidenschaftlich fleißig. Er hat in hervorragendem Maße die Eigenschaft der Mathematiker, fern vom Arbeitstisch und in allen Situationen über seine Mathematik nachdenken zu können. Berühmt sind seine mathematischen Spaziergänge, die er in Königsberg mit *Hurwitz* und *Minkowski*, in Göttingen mit Kollegen, mit ausgewählten Schülern, eine Zeit lang sogar mit

dem großen Schwarm seines Seminars, zu *Min-kowskis* Zeit mit diesem allein oder in Familie, und „jeden Donnerstag pünktlich drei Uhr“ mit den mathematischen Ordinarien unternahm. Dabei wurde die lebhafteste Bewegung des mathematischen Gesprächs durch lebhafteste körperliche Bewegung ergänzt, wie die regelmäßige „Erstürmung des 203-m-Hügels“ — eine Erinnerung an den russisch-japanischen Krieg — beweist. *Hilbert* ist kein Leser, kein Gelehrter im Sinne des Büchermenschen. Er läßt sich lieber erzählen und behält. Als ich während meiner Doktorarbeit ihm trübselig berichtete, daß ich meine schönste Entwicklung nachträglich in einer älteren Arbeit bereits vorhanden gefunden hätte, sagte er nur: „Warum kennen Sie auch so viel Literatur!“ Trotzdem hat er für seinen Zahlbericht eine sehr schwierige Literatur in ihre Tiefen durchgeforscht, hat, um sich in die Physik einzuarbeiten, umfangreichste Buchstudien getrieben. Das sind Äußerungen des *Hilbertschen* Willens.

*Hilberts* Wille will Hohes und ist gütig. Seine Güte haben seine Schüler in reichem Maße erfahren. Durch die Güte geklärt, konnte sich sein Verstand in seinen Ratschlägen an uns bis zur Weisheit erheben — ich gebrauche dieses starke Wort, weil ich kein anderes finde, das meinen Eindruck wiedergibt. *Hilbert* steht mit seinen Schülern und der jungen Generation einfach auf dem Fuße der Gleichheit, und zwar geschieht dies vollständig ungewollt und unbefangen. „Ich setze mich zu den Jungen; bei denen ist doch etwas zu holen“, erklärte er auf einer Naturforscherversammlung. Das günstige Schicksal hat ihm einen jugendlichen Körper verliehen, zum Gehen und Radfahren so behend wie ehemals, die geistige Jugend erhält er sich geflissentlich durch Anschluß an die jüngste Generation. Alle, die im *Hilbertschen* Hause aus- und eingegangen sind, werden bei der *Hilbertfeier* mit Vergnügen und mit Rührung sich der Stunden mit ihm erinnern: der Spaziergänge durch schweren Sturzacker unter Zahlkörpergesprächen, der Wandelhalle mit der langen Wandtafel im *Hilbertschen* Garten, der improvisierten Tanzvergnügen bei weggerolltem Teppich unter Grammophonbegleitung, wo *Hilbert* die *Française* kommandierte, der vielen Originale, die um die speisenschweren Tische herum unter tief-mathematischen Reden schmausten, der übermütigen Geburtstagsfeiern mit ihren übermütigen Aufführungen. Und *Hilbert* in der Mitte, rasch wechselnd zwischen ernstester Wissenschaft und animiertester Gesellschaftsstimmung, und neben ihm Frau *Käthe Hilbert* mit ihrer Gastfreundschaft, ihrer kräftigen Art, ihrem herzlichen Wohlwollen und ihrer scharfen Kritik.

Noch einige Worte über *Hilbert* als Lehrer. Eine gut vorbereitete Vorlesung bei *Hilbert* ist ein besonderer Genuß. Keinerlei rhetorischer Schmuck: im Gegenteil, die absichtliche mehrfache Wiederholung wichtiger Stellen ist vom Gesichtspunkt der rednerischen Schönheit bedenklich. Aber eindringlich wirken die einfachen, natürlich und logisch aneinandergereihten Sätze, eindringlich der Ernst und die Angespanntheit des Vortragenden, dessen schnellen Bewegungen und vorgestrecktem Kopfe man die innerliche Mitarbeit ansieht, und der Kundige schaut sogleich, der Lernende erkennt im Rückblick die hohen und klaren Gesichtspunkte der Disposition und die überall einfließenden originalen Wendungen. Noch mächtiger wirken die Vorlesungen, in denen *Hilbert* die Ergebnisse seiner neuesten Forschungen vorträgt. Es ist nicht leicht, bei *Hilbert* als Doktorand zugelassen zu werden, noch weniger leicht, die von ihm gestellten Aufgaben zu bewältigen. In den Themen seiner Doktorarbeiten offenbart sich die Vielseitigkeit der in seinem Geiste gleichzeitig vorhandenen Interessen, die in der eigenen Publikation so streng zurückgeschnitten ist. Ich denke an Dissertationen über ganze transzendente Funktionen, Stieltjessche Kettenbrüche, Doppel-limes, komplexe Multiplikation, Flächentheorie, Tschebyscheffsche Näherungsmethoden, Modul-funktionen zweier Veränderlicher, Topologie algebraischer Kurven und Flächen u. a., während ich die Menge derjenigen, die enger an *Hilbertsche* Arbeitsgebiete anknüpfen, übergehe. Viele dieser Dissertationen sind vorzüglich, in ihrer Gesamtheit bilden sie einen Schatz. Wieviel in ihnen von *Hilbert* selbst herrührt, läßt sich nicht entscheiden, wird von Fall zu Fall sehr verschieden gewesen sein. Sicher ist, daß alle Doktoranden, die sich mit Schwierigkeiten an *Hilbert* gewandt haben, immer Rat und hilfreiche Tat bei ihm gefunden haben. Diese Schüler alle und die vielen, die als reifere Männer nach Göttingen zu ihm kommen, vor allem die jungen Göttinger Dozenten, erfüllen sich in Berührung mit ihm mit seiner Begeisterung für die Mathematik und für die wissenschaftliche Wahrheit. Sie werden seine „Schüler“ im weitesten Sinne, und wenn einmal wieder schwach im Glauben wird, pilgert gern nach Göttingen und läßt sich „auffrischen“.

Denn in *Hilbert* lebt der Glaube an die Macht des menschlichen Geistes. Aus seinem Pariser Vortrag stammt ein Wort, das so sehr sein inneres Evangelium ausspricht, daß er es kürzlich wieder zum Schlußwort einer Vorlesung gemacht hat: „Wir hören in uns den steten Zuruf: Da ist das Problem, suche die Lösung. Du kannst sie durch reines Denken finden; denn in der Mathematik gibt es kein Ignorabimus.“



## Der Algebraiker Hilbert.

Von O. Toeplitz, Kiel.

*Hilbert* als Algebraiker und Arithmetiker einem weiteren Kreise zu schildern, erscheint als eine Unmöglichkeit. Und, was den Arithmetiker betrifft, so ist es und bleibt es auch eine solche. Ein Mathematiker, der in dem Wirkungsradius eines Kunstwerks einen wesentlichen Faktor seines gesamten Wertes sieht, wird sich nicht leicht dieses Eingeständnis abringen, daß der erhabenste Teil seiner Wissenschaft einen so kleinen Aktionsbereich haben soll; mit wehmütigem Neid wird er zusehen, wie der Musiker, der Maler alle Welt mit seinen Schöpfungen erfreut, wie zurzeit selbst der astronomische Nachbar mit seinen Fixsternbewegungen, wie der physikalische mit seinen noch in verzaubertem Halbdunkel zirkulierenden Elektronen, mit seiner Umformung von Raum- und Zeitbegriff die Gemüter der Gebildeten bewegt. Derjenige aber, der in Weltabgeschlossenheit einen Ruhmestitel der Mathematik erblickt, der eine mathematische Theorie nur dann höchsten Reizes wert findet, wenn sie nur weniger Gelehrter Gemeingut zu sein vermag, wird in *Hilberts* zahlentheoretischen Arbeiten, auch ohne sie noch zu kennen, den Kern seiner Leistung vermuten. Und in Wahrheit hat *Hilbert*, vielleicht auch nach seinem eigenen Bewußtsein, seine stärkste Kraft an dieses Gebiet gewendet. Er hat aus *Kummers* schwer zugänglichen, von induktivem Material übervollen Arbeiten, die wenige vor ihm gelesen haben, und die nach ihm und dank ihm heute nur wenige noch zu lesen brauchen, eine Welt von allgemeinen Tatsachen und Thesen herausgeholt; er hat den unstet dahineilenden Fluß der Idealtheorie in feste, weite Ufer gebannt und ein Stauweiher errichtet, aus dem der nun breit dahinfließende Strom seine stetigen Kräfte bezieht.

Von dem Algebraiker *Hilbert* zu erzählen, so zu erzählen, daß der Naturwissenschaftler ein Bild erhält, und selbst derjenige einen Eindruck, dessen mathematische Exerzitien bei der Gleichung der Ellipse aufgehört haben, ist vermessen. Die Algebra ist nicht minder weltfremd wie ihre arithmetische Schwesterdisziplin. Indessen *Hilbert* nimmt zur Algebra eine besondere Stellung ein. Seine Methoden sind von einer ganz anderen Art wie die eines *Kronecker*, *Frobenius*, *Gordan*; es sind Methoden, auf die bei ihrem Auftreten keiner der Beteiligten gefaßt war. Algebraische Probleme, die jeder Anstrengung gespottet hatten, erlegt er damit, wie David den Riesen Goliath. Solche Kampfesart vermag vielleicht das Interesse auch derer zu finden, die sich sonst unter dem Goliath Algebra nichts anderes vorstellen als einen besonders großen Phillister. Und dieser Schimmer einer Möglichkeit, von dem Algebraiker *Hilbert* zu erzählen, soll deshalb nicht ungenutzt bleiben, weil

sich in seinen algebraischen Forschungen ein Wesenszug offenbart, der sich von dem Hintergrunde der Algebra plastischer abhebt als von dem seiner vielen anderen Arbeitsgebiete, und der ein Grundpfeiler ist für die Analyse des mathematischen Menschen *Hilbert*. In diesem Sinne soll der Versuch unternommen werden.

### 1.

*Hilberts* erste und umfassendste algebraische Leistung gehört der Invariantentheorie an. Diese Disziplin stand in der Zeit von 1860—1890 in Deutschland auch in höchster Blüte; ihre Technik hat der junge *Hilbert* intensiv in sich aufgenommen und weiterhin so bewahrt, wie man nur bewahrt, was einem in der frühesten Jugend eingeprägt worden ist. Seine entscheidende Leistung auf diesem Gebiete beruht allerdings keineswegs auf dieser Technik; darum ist es auch ganz einfach, sie hier zu kennzeichnen, wenn man nur zuvor die Idee, die überhaupt der Invariantentheorie zugrunde liegt, verdeutlicht hat. Durch die weite Verbreitung, die der Relativitätsgedanke heute gefunden hat, scheint überdies dem weit einfacheren Invariantenbegriff der Weg ins naturwissenschaftliche und philosophische Publikum vollends geebnet.

Die Grundidee von *Descartes*, mittelst zweier zueinander senkrechter Achsen jede geometrische Figur in ein Rechending umzuwandeln, ist wunderschön; sie hat nur den einen Mangel, daß jenes Rechending nicht allein von der vorliegenden Figur, sondern auch noch von der Wahl des Koordinatensystems abhängt. Verlegt man dieses, so entspricht der nämlichen Figur ein anderes Rechending. So lautet z. B. die Gleichung der Ellipse:

$$\frac{x^2}{p^2} + \frac{y^2}{q^2} = 1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

wenn man die Achsen der Ellipse als Koordinatenachsen wählt; legt man ein anderes Koordinatensystem zugrunde, so wird die Gleichung der Ellipse in irgendeine andere Gleichung 2. Grades zwischen  $x$  und  $y$  übergehen, von der Form:

$$ax^2 + 2bxy + cy^2 + dx + ey + f = 0 \quad . \quad (2)$$

Es ist dies deshalb so unangenehm, weil man beim Operieren mit diesem Rechending, wenn man sorglos rechnet, jeden Augenblick auf Ausdrücke stößt, die nicht mehr an der Ausgangsfigur geometrisch gedeutet werden können, die also für das geometrische Ziel der Untersuchung abwegig sind. Würde man z. B. aus (2) im Laufe der Rechnung den Ausdruck

$$\frac{d^2 - 4af}{a^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

ableiten, so träte dieser Fall ein. Natürlich wäre es leicht, auch diesen Ausdruck zu deuten: er ist

das Quadrat des Abstandes der beiden Schnittpunkte der Ellipse mit der  $x$ -Achse voneinander. Aber das ist keine der Figur der Ellipse als solche eigentümliche Größe; denn sie verändert sich, wenn man unter Festhaltung der Ellipse die  $x$ -Achse verlegt.

Dem *Physiker* — das sei für diesen eingeschaltet — ist dieser Übelstand wohlvertraut, und er ist für ihn der Anlaß, sich der Vektorrechnung zu bedienen. Denn der Skalar eines Vektors:

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad (4)$$

hat die angenehme Eigenschaft, bei jeder Drehung des räumlichen Koordinatensystems ungeändert zu bleiben; und für die Figur zweier Vektoren hat außer ihren beiden Skalaren noch ihr inneres Produkt das gleiche Verhalten:

$$\left. \begin{aligned} r_1^2 &= x_1^2 + y_1^2 + z_1^2, \quad r_2^2 = x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 \\ r_1 r_2 \cos \varphi &= x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Wenn man also diese Größen besonders benennt und, anstatt mit den einzelnen Koordinaten zu rechnen, sich auf einen Kalkül mit diesen Größen beschränkt, so ist man sicher, immer im Rahmen solcher Bildungen zu bleiben, die eine unmittelbare Deutung an der Figur der vorgelegten Vektoren gestatten.

Schon lange vor den Physikern hatten die *Geometer* an diesem Übelstand der analytischen Geometrie das gleiche Ärgernis genommen und sich deshalb von ihr abgewendet; so war in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts die synthetische Geometrie zur Blüte gelangt, die rein geometrisch an den Figuren operiert. Ihr Wettbewerb hat die analytischen Geometer dazu gedrängt, auch ihrerseits diesem Übelstande Rechnung zu tragen; das Ergebnis war die *Invariantentheorie*. Man lenkte seine Aufmerksamkeit systematisch auf diejenigen Ausdrücke, die bei jeder Verlegung des Koordinatensystems ihren Wert behalten und nannte sie „Invarianten“. Die Ausdrücke (4) und (5) der Vektorrechnung sind also Invarianten; im Bereiche der Ellipsenfigur wären u. a. — man kann es unschwer nachrechnen —

$$j_1 = a + c, \quad j_2 = ac - b^2 \quad (6)$$

invariante Ausdrücke, also Ausdrücke, die eine geometrische Deutung an der Ellipse gestatten. Diese Deutung ist leicht gefunden; denn wegen ihrer Invarianz behalten diese Ausdrücke ihren Wert, wenn man das Koordinatensystem z. B. in die Ellipsenachsen legt; dabei geht die Gleichung (2) der Ellipse in die Form (1) über, es wird also:

$$a = \frac{1}{p^2}, \quad b = 0, \quad c = \frac{1}{q^2}$$

und daher:

$$j_1 = \frac{1}{p^2} + \frac{1}{q^2}, \quad j_2 = \frac{1}{p^2 q^2} \quad (7)$$

Da  $p, q$  die Längen der Achsen der Ellipse sind, sind  $j_1, j_2$  hiermit wirklich geometrisch gedeutet;

übrigens folgt — was bald gebraucht wird — umgekehrt durch Auflösung von (7):

$$\frac{1}{p^2} = \frac{j_1 + \sqrt{j_1^2 - 4j_2}}{2}, \quad \frac{1}{q^2} = \frac{j_1 - \sqrt{j_1^2 - 4j_2}}{2} \quad (8)$$

Wir können uns nun dem Gedankeninhalt des Hilbertschen Theorems einen Schritt nähern, indem wir zum Begriff des *vollen Invariantensystems* aufsteigen. Es ist dem Physiker durchaus geläufig, daß man aus der Figur zweier Vektoren im wesentlichen nichts anderes bilden kann als die drei Ausdrücke (5); alles andere sind Derivate davon; denn durch  $r_1, r_2, \varphi$  ist offenbar die ganze Figur der beiden Vektoren geometrisch bestimmt. Damit ist ein Überblick über *alle* Invarianten dieser Figur gefunden. Aber der Kernpunkt der Angelegenheit ist dabei noch nicht eigentlich berührt; er wird am Beispiel der Ellipse deutlicher hervortreten. Auch hier ist klar, daß eine Ellipse durch die beiden Achsenlängen  $p, q$  geometrisch völlig bestimmt ist (Ellipsen mit den gleichen Achsenlängen sind kongruent), daß also *alle* Invarianten sich durch  $p$  und  $q$  ausdrücken müssen; und da  $p, q$  ihrerseits vermöge (8) durch  $j_1, j_2$  ausgedrückt sind, müssen sich also auch alle Invarianten durch  $j_1, j_2$  ausdrücken lassen; z. B. wird, um einen simplen Fall zu nehmen, das Achsenquadrat  $p^2$  selbst, das eine unmittelbare geometrische Deutung hat, wie man aus (8) abliest, sich als

$$p^2 = \frac{2}{j_1 + \sqrt{j_1^2 - 4j_2}}$$

ausdrücken. Damit ist wiederum ein vollständiger Überblick über sämtliche Invarianten der Figur gewonnen; aber der Kernpunkt der Sache ist ein anderer: In den Ausdruck für  $p^2$  geht ein Wurzelzeichen ein; es wird in Anbetracht dessen also etwas ganz Besonderes sein, wenn man aussagt: ist eine Invariante eine *ganze rationale* Funktion von  $a, b, c, d, e, f$ , so läßt sie sich stets als *ganze rationale* Verbindung von  $j_1, j_2$  darstellen, wie z. B.:

$$(a - c)^2 + 4b^2 = (a + c)^2 - 4(ac - b^2) = j_1^2 - 4j_2 \quad (9)$$

<sup>1)</sup> Der Leser, der noch einen Augenblick hierbei verweilen will, kann sich auch von dem *Beweise* dieser Tatsache und damit von ihrem *Kaliber* eine Vorstellung machen. Denn da  $j$  invariant sein soll, muß speziell

$$j(a, b, c, d, e, f) = j\left(\frac{1}{p^2}, 0, \frac{1}{q^2}, 0, 0\right) = R\left(\frac{1}{p^2}, \frac{1}{q^2}\right)$$

sein; weil es eine ganze rationale Funktion sein soll, ist es also auch eine ganz rationale Verbindung von  $\frac{1}{p^2}$  und  $\frac{1}{q^2}$ . Wegen der Invarianz gilt aber das gleiche, wenn man das Koordinatensystem nochmals abändert, jedoch nur so, daß die beiden Ellipsenachsen ihre Rolle vertauschen; daraus geht hervor, daß  $R$  eine symmetrische Verbindung seiner beiden Argumente ist:

$$R\left(\frac{1}{p^2}, \frac{1}{q^2}\right) = R\left(\frac{1}{q^2}, \frac{1}{p^2}\right)$$

und es ist nun ein fundamentaler Satz der Algebra, der sog. Satz von den symmetrischen Funktionen, der besagt, daß alle symmetrischen Verbindungen zweier Argumente sich ganz rational aus deren Summe und deren Produkt zusammensetzen lassen, also wegen (7) gerade aus den beiden Größen  $j_1, j_2$ .



Erst auf Grund dieses Tatbestandes nennt man  $j_1, j_2$  ein „volles Invariantensystem“ der Ellipsenfigur.

Das fundamentale Problem der Invariantentheorie besteht nun darin, zu irgendeiner gegebenen Figur das volle Invariantensystem aufzustellen, d. h. ein System von ganzen, rationalen Invarianten, durch die sich alle übrigen ganz-rational ausdrücken lassen, und man wird aus den erörterten Beispielen einen Begriff von der Natur dieses Problems entnehmen. Nur muß man hinzufügen, daß die klassische Invariantentheorie sich in Wahrheit vorzugsweise mit solchen Ausdrücken befaßt, die nicht nur bei starrer Verlegung des Koordinatensystems unverändert bleiben, sondern auch beim Übergang zu schiefwinkligen Koordinaten oder zu denjenigen noch allgemeineren, die der Geometer projektive nennt; auch *Hilberts* Arbeiten gelten ganz Invarianten in diesem Sinne. Der Leser wird sich vorstellen, daß bei Figuren, die nicht aus einer Ellipse, sondern aus einer Kurve oder Fläche höherer Ordnung oder gar aus mehreren solchen Gebilden besteht, die Aufstellung des vollen Invariantensystems sehr viel schwieriger ist als in dem Falle der Ellipse. Ja es ist zunächst überhaupt fraglich, ob man bei einer solchen beliebig verwickelten Figur stets eine *endliche* Anzahl von Invarianten herausgreifen kann, durch die sich alle anderen ganz-rational ausdrücken lassen. Dieses *Problem von der Endlichkeit des Invariantensystems* ist es, das *Hilbert* gelöst hat.

Durch Ausbildung einer besonderen Technik hatten die Invariantentheoretiker vor *Hilbert* für immer verwickeltere Figuren die Aufstellung des vollen Invariantensystems auszuführen versucht; es waren gigantische Rechnungen, mit denen *Gordan* das Problem auf diesem expliziten, konstruktiven Wege hatte meistern wollen, und im Falle eindimensionaler Figuren tatsächlich gemeistert hatte. Es ist unmöglich, von dem Gedanken, mit dem *Hilbert* es bewältigte, so wunderbar durchsichtig er ist, hier einen Begriff zu geben. Aber es geht auf Grund der entwickelten Vorstellungen — und dazu wurden sie so ausführlich gegeben — immerhin an, das Verhältnis der Hilbertschen Methode zu derjenigen von *Gordan* zu kennzeichnen, also den Zug, der für diese Skizze hier der wesentliche ist.

Wenn man das Verfahren analysiert, mit dem *Hilbert* die Existenz des endlichen Invariantensystems erweist, so steht am Anfang desselben etwa eine Schlußweise wie diese: unter allen Invarianten der vorgelegten Figur muß sich eine von möglichst niedrigem Grade befinden; wie man sie findet, ist eine andere Frage, aber es ist klar, daß es eine solche geben muß; sei  $j_1$  eine solche. Und aus dieser einen  $j_1$  werden dann durch eine Folge ähnlicher und immer komplizierterer Schlüsse die übrigen aufgebaut, bis das volle System fertig ist. Wollte man aus diesem Beweise ein Verfahren extrahieren, um im Falle

einer einzelnen Figur tatsächlich das volle System aufzustellen, so würde man dafür keinerlei Handhabe finden; und fände man sie, so würde man auf diesem Wege zu einem Verfahren gelangen, das schon bei den einfachsten Figuren, deren volles System man anderweit beherrscht, von einer lächerlichen Kompliziertheit wäre. Eben das war die große Überraschung an *Hilberts* Lösung, und es ist ihr Kernpunkt: *Hilbert* erkannte, daß eine faktische Aufstellung des vollen Systems im allgemeinen Falle unerreichbar ist und zeigte, daß man das Problem lösen kann, indem er auf das *einfache* Verfahren zur faktischen Herstellung verzichtete. Es ist charakteristisch, wie *Gordans* ganzes Gefühl sich zuerst dagegen auflehnte, was hier geschah; sein eigenes großes Ziel war hier erreicht, aber unter Preisgabe aller der imponderablen Nebenforderungen, die in seinem Bewußtsein und in dem der meisten Invariantentheoretiker unlösbar mit der Bezwingung des Problems verbunden gewesen waren.

Der weitere Verlauf der Angelegenheit beleuchtet diese Sachlage noch greller. *Hilbert* schritt über den Endlichkeitssatz sofort hinaus zum positiven Aufbau einer Theorie der Invariantenkörper, d. h. zu dem näheren Studium derjenigen Umstände, die dem vollen Invariantensystem durch den Zusatz des Wortes „ganz rational“ erwachsen — Umstände, die in dem einfachen Beispiel der Ellipsenfigur sich noch nicht bemerkbar machen, aber bei einer Figur, die aus einem Vektor und einem Tensor besteht, bereits auftreten<sup>2)</sup>. Aber die übrigen Invariantentheoretiker nahmen daran keinen aktiven, mitarbeitenden Anteil; es hätte wohl eine neue Generation von Invariantentheoretikern erst heranwachsen müssen, die dazu gewillt gewesen wäre. Ehe es dazu kam, war die Invariantentheorie längst aus der Mode und auch *Hilbert* hatte seinen isolierten Posten verlassen und sich der Zahlentheorie zugewendet. Nur die Theorie der Formenmoduln, die er in diesem Zusammenhang geschaffen hatte, ist bis zum heutigen Tage lebendig geblieben, übrigens ohne seine weitere eigene Mitwirkung. Sie hat sich als berufen erwiesen, für den Problemkreis des sog. Noetherschen Theorems ähnliches zu leisten, wie *Hilberts* Endlichkeitssatz für die Invariantentheorie: nämlich die genauere Einsicht in die Natur der Singularitäten algebraischer Kurven und Flächen, die *Noether* für den Fall ebener Gebilde durch sein Theorem explicite erlangt hatte, und die im Raume angesichts der Kompliziertheit der Tatsachen, wie es scheint, nicht ebenso explicite erlangt werden kann. Und hier ist es *Noether*, der soeben dahingeschiedene Nestor der algebraischen Geometrie,

<sup>2)</sup> Hier lassen sich alle Invarianten der Figur durch 6 unter ihnen ausdrücken; aber damit es ganz — rational gehe, wie im Falle der Ellipse mit  $j_1, j_2$ , muß man noch eine siebente hinzufügen, die sich ihrerseits mit Hilfe von Wurzelzeichen durch die ersten 6 ausdrücken läßt.

selbst, der unablässig in diese Richtung gewiesen hat.

## 2.

Seither hat *Hilbert* noch wiederholt die algebraische Feder ergriffen. Es wäre sehr reizvoll, die ganze Reihe dieser kleineren, in sich abgerundeten Arbeiten, zu analysieren und ihre methodische Verwandtschaft mit der Invariantenarbeit aufzuweisen; aber es würde einen zu starken Apparat erfordern, den Titeln: „Construction algebraischer Gleichungen jeden Grades ohne Affekt“, „Darstellung definiter Formen als Summe von Formenquadraten“, „neuer Beweis der Transcendenz der Zahlen  $e$  und  $\pi$ “ (der einfachste und gangbarste, den wir besitzen), „Lösung des Waringschen Problems“ einen weithin hörbaren Klang zu verleihen. Denn es genügt für den Zweck, den sich diese Studie gesetzt hat, nicht, die Tatsachen zu skizzieren — das wäre bei einzelnen dieser Gegenstände durchaus möglich —, sondern es gilt das Wesen der Methoden herauszuheben.

Aber *Hilbert* hat noch einmal eine umfassende algebraische Leistung vollbracht, in der *Theorie der Integralgleichungen* und *unendlichvielen Variablen*, deren analytische Seite an anderer Stelle dieses Heftes zur Geltung kommt. Eine große Reihe der verschiedenartigsten Theorien hat er hier zu einem gemeinsamen Ganzen vereinigt: die Untersuchungen von *H. A. Schwarz* über eine in eine irgendwelche Kontur gespannte, schwingende Membran, die *Picard* und *Poincaré* fortgesetzt hatten, die Untersuchungen von *C. Neumann*, *Robin* und *Poincaré* über die Randwertaufgaben der Potentialtheorie, von denen aus *Fredholm* die Integralgleichungen entdeckt hatte, die Arbeiten *Helge von Kochs* über unendliche Determinanten, die *Stieltjes*sche Kettenbruchtheorie, die von *Liouville* ausgehenden Entwicklungssätze nach Eigenfunktionen linearer Schwingungsvorgänge, das *Riemannsche* Problem mit seinen Kontinuitätsmethoden u. a. m. Das einigende Band für alle diese Theorien ist ein *algebraischer Gedanke*. Und nun ist es sehr bezeichnend, in welcher Weise sich dieser Gedanke von allen diesen einzelnen vorher vorhandenen Theorien seiner ganzen Wesensart nach abhebt. Es sei an einigen der eklatantesten Beispiele erläutert.

*Helge von Koch* entwickelt eine Theorie der unendlichen Determinanten, um daraus die Auflösung unendlich vieler Gleichungen ersten Grades mit unendlichvielen Unbekannten abzuleiten. Und in der Tat beweist er ganz nach dem Muster der üblichen Theorie: wenn die unendliche Determinante von Null verschieden ist, ist das unhomogene Gleichungssystem bei beliebigen rechten Seiten lösbar, wenn sie verschwindet, das homogene, usf. Dabei muß er über die Koeffizienten des Gleichungssystems gewisse Konvergenzvoraussetzungen machen, damit seine unendliche Determinante konvergiere. *Hilbert* streift sofort den

formalen Apparat expliziter, konstruktiver Lösungsformeln von dem Gegenstande ab, d. h. die Determinante schält diejenigen Tatsachen aus der Theorie heraus, die von diesem formalen Apparat frei sind (z. B. aus den genannten beiden Sätzen von *Helge von Koch* den alternativen Satz, daß entweder die unhomogenen Gleichungen bei beliebigen rechten Seiten *oder* die homogenen Gleichungen lösbar sind) und sucht die wahren Bedingungen für diese nackten Tatsachen der Lösbarkeit der Gleichungen. Er findet, daß die wahren Bedingungen sehr viel weitere sind, und auch sehr viel natürlichere als die Konvergenzbedingungen, die *Helge von Koch* angegeben hatte, um der Konvergenz seiner Determinante sicher zu sein.

*H. A. Schwarz* bestimmt aus der Kontur seiner schwingenden Membran (es ist Nebensache, daß er sich dieser Einkleidung nicht bedient) ihren Grundton durch ein iteratives Verfahren, das einem Verfahren der Algebra zur Bestimmung der Achse eines Ellipsoids (aus seiner Gleichung in der allgemeinen Form) in wunderbarer Weise nachgebildet ist. Der Embryo von *Hilberts* Theorie der Integralgleichungen mit symmetrischem Kern liegt hier zutage. Aber mit bewußter Absichtlichkeit, die er seinen Schülern als Vorbild hinstellt, vermeidet es *Schwarz*, die großen, die allgemeinen Gesichtspunkte auszusprechen und beschränkt sich darauf, einen großen Gedanken, dessen Tragweite er kennt, an einem konkreten Einzelfall in realer Konstruktion, mit expliziten Formeln durchzuführen. Hatte *Schwarz* so gewissermaßen die Hauptachsen eines ganz speziellen, bestimmten Ellipsoids im Raume von unendlich vielen Dimensionen untersucht, so wendet sich *Hilbert* sofort zu dem allgemeinen Ellipsoid in diesem Raume und sucht die wahren Bedingungen, unter denen Grundton und Obertöne, d. h. aber alle unendlichvielen Hauptachsen nachweisbar sind. Er findet, daß dies unter Bedingungen von schönster Einfachheit und Allgemeinheit der Fall ist, Bedingungen, unter denen jenes iterative Verfahren von *Schwarz* durchaus nicht mehr immer funktioniert. Und er spannt schließlich jene Bedingungen zu solcher Weite, daß selbst die Kettenbruchtheorie von *Stieltjes* ihnen als die Theorie einer besonderen Art von Ellipsoiden unterbegriffen werden kann, eine Theorie, die einer gänzlich anderen Sphäre entstammt. Der elegante formale Apparat, auf dem *Stieltjes* diese bewunderungswürdige Theorie aufgebaut hat, geht bei *Hilbert* über Bord; durch ein Auswahlverfahren erzwingt er die Tatsachen bei den allgemeinen Ellipsoiden, die *Stieltjes* mutatis mutandis bei seinen speziellen erlangt hatte.

So hat *Hilbert* in seiner Theorie der unendlichvielen Variablen ein großes Haus errichtet, in dem viele einzelne Untersuchungen geräumige Wohnungen gefunden haben; bequeme Treppen führen von einem Stockwerk zum anderen; In-



sassen, die vorher einander nicht gekannt hatten, verkehren hier freundschaftlich miteinander. Manche von ihnen auch sind enttäuscht; sie hatten sich ihre Zukunft nicht so vorgestellt, manch imponderabler Traum ihrer Jugend war hier nicht erfüllt. Aber es ist ein freies Haus, in dem sie wohnen, keinem ist es benommen; den alten Traum zur Erfüllung zu bringen; und es ist festgefügt, daß niemand es mehr einzureißen vermag.

## 3.

So steht der Algebraiker *Hilbert* in ausgeprägter Eigenart vor uns, wie nicht ein jeder Mathematiker. Aus allen Problemen greift er die harten Tatsachen heraus, die klar entscheidbaren Fragen, bei denen man von der Überzeugung durchdrungen ist: entweder sind sie lösbar, oder man kann den Beweis der Unlösbarkeit führen. Sein bekannter Pariser Vortrag über die mathematischen Probleme ist ein bewußter, großer Hymnus auf das klar Entscheidbare. Betrachtet man die Mathematik, nicht wie sie sein könnte, sondern wie sie wirklich ist, als Summe allen mathematischen Geschehens, so gewahrt man, daß sie mit dem klar Entscheidbaren nicht erschöpft ist, daß sie von Imponderabilien wimmelt. Es gibt synthetische Geometer, die etwas „rein geometrisch“ oder „rein projektiv“ machen wollen, Algebraiker, die in der Kunst einer symbolischen Schreibweise, einer Bezeichnungsart, in der „Reinheit“ eines Beweises den ästhetisch vollkommenen Ausdruck einer Sache durch die Form suchen; es gibt Funktionentheoretiker, die etwas „elementar“, soll heißen ohne den Cauchyschen Integralsatz beweisen wollen, und sie zählen keinen geringeren als *Weierstraß* zu den ihrigen; der angewandte Mathematiker will die Wurzel einer Gleichung

„möglichst rasch“ auf 3 Dezimalen besitzen, und es gibt keinen exakten quantitativen Maßstab der Raschheit. Es ist nicht die Absicht dieser Zeilen, zu solchen Neigungen Stellung zu nehmen, sie für berechtigt oder unberechtigt zu erklären. Der Zweck war nur, das scharfe Profil sichtbar zu machen, das *Hilbert* von dieser Seite her zeigt.

Die Frage der Grundlagen der Mathematik ist heute von neuem aufgerührt worden. *Brouwer*, *Weyl* haben das Wort ergriffen und *Hilbert* selbst ist wieder auf die Mauer gestiegen. Es ist unverkennbar, daß *Weyl* und *Brouwer* gegen die axiomatische Denkweise *Hilberts* Stellung nehmen, daß sie die mathematischen Dinge nicht indirekt aus ihren Eigenschaften, sondern direkt durch positive Konstruktionen hergestellt wissen wollen, die werdende Folge usw.; der Ruf der Rückkehr zu *Kronecker*, dem sich *Hilbert* stets entgegengesetzt gefühlt hatte, erklingt. Man hat im Laufe der Geschichte der Mathematik stets nach den Grundlagen gegriffen, wenn der wirkliche Betrieb der Wissenschaft irgendeinen Anlaß dazu gab. Es drängt sich die Frage auf, ob das heute der Fall ist. Offen gewiß nicht. Aber im Verborgenen könnte man einen unbewußten Zusammenhang ahnen zwischen den Gegensätzen der Grundlagendebatten und den gegensätzlichen Tendenzen mathematischer Forschung, einer etwaigen Reaktion gegen den Algebraiker *Hilbert*, wie er hier gesehen wurde. Ich möchte die Sachlage so formulieren: nur wenn die Grundlagenkämpfer es verstehen werden, sich zu Interpretationen solcher tatsächlich im Forschungsbetriebe bestehenden Gegensätzlichkeiten zu machen, werden sie Boden fassen und etwas Wirksames leisten können.

## Hilberts geometrisches Werk.

Von M. Dehn, Frankfurt a. M.

Untersuchungen über die Grundlagen der Geometrie haben seit dem Altertum fast alle Mathematiker angezogen. Im Beginn des 19. Jahrhunderts bekommen sie mit Entstehung der sogenannten Nicht-Euklidischen Geometrie den Reiz geheimnisvoller, schwer verständlicher, kühner und fast verbotener Forschung. Die 1899 zuerst veröffentlichten „Grundlagen der Geometrie“ von *Hilbert* enthalten Untersuchungen großer Kühnheit, aber restloser, radikaler, manchmal fast primitiver Klarheit. So ist es zu erklären, daß dieses, jetzt erheblich erweiterte Werk, obwohl in ihm eine solche Fülle neuer, tiefer, abstrakter Probleme mit den mannigfachsten mathematischen Methoden behandelt und erledigt werden, heute zum 5. Male aufgelegt wird. Das ist in der Tat bemerkenswert. Als analog ist vielleicht der Erfolg zu betrachten, den der 1822 zuerst er-

schienene „*Traité des propriétés projectives*“ von *Poncelet* hatte, durch den die projektive Geometrie begründet wurde.

Betrachten wir die Probleme und ihre Geschichte: die Auffindung der mathematischen Methode ist für die Geschichte des menschlichen Geistes von hoher Bedeutung. Dieser Fortschritt ist nicht, wie andere, ebenso wichtige, in dunkler Vorzeit getan, sondern er ist dem in hellem Licht sich entfaltenden griechischen Denken gelungen. In der Zeit der Naturphilosophen begonnen, ist er im 3. Jahrhundert vor Christi, zur Zeit von *Euklid* und *Archimedes*, vollendet. Durch die mathematische Methode ist man befähigt, aus als richtig angenommenen Sätzen mit absoluter Sicherheit neue Sätze abzuleiten. Es ist ja in der Tat erstaunlich, wie man aus den allereinfachsten Erfahrungen (Axiomen und Postu-

laten) die mannigfachsten, komplizierten und doch oft wieder so wunderbar einfachen Eigenschaften der geometrischen Figuren gewinnen kann. Durch alle Zeiten ist die „geometrische Weise“ des Schließens bewundert worden, und vergeblich hat man oft versucht, sie auf andere Gebiete zu übertragen. Besonders klar und mit großer Freiheit gehandhabt, tritt sie bei *Archimedes* auf, wenn er z. B. bei der Bestimmung der Kugeloberfläche als Postulat die doch gar nicht ganz selbstverständliche Tatsache aufstellt: liegt die geschlossene konvexe Fläche  $F_1$  ganz innerhalb der geschlossenen Fläche  $F_2$ , dann hat  $F_1$  eine kleinere Oberfläche als  $F_2$ . Ich glaube, daß diese Freiheit in der Handhabung der Methode von manchen späteren Mathematikern bis in unsere Zeiten nicht verstanden worden ist. Ein ganz analoger Fall bei *Euklid* hat wohl den ersten Anstoß zur Beschäftigung mit einer zentralen Frage aus den Grundlagen der Geometrie gegeben, nämlich der Frage nach der *Unabhängigkeit der geometrischen Axiome oder Postulate* voneinander.

*Euklid* hat nämlich nicht gleich zu Beginn seines Werkes alle Axiome aufgestellt, vielmehr entwickelt er erst eine ganze Reihe von Sätzen, ehe er das berühmte *Parallelenaxiom* einführt. Dies wird von ihm so formuliert:

„Wenn zwei Geraden mit einer dritten auf derselben Seite innere Winkel bilden, deren Summe kleiner als ein flacher Winkel ist, so schneiden sie sich bei hinreichender Verlängerung auf dieser Seite.“

Diese Formulierung ist sehr merkwürdig und wohl teilweise deswegen so künstlich, weil *Euklid* vermeiden wollte, daß Teile des Axioms schon aus den früheren Axiomen folgen könnten, wie es z. B. sein würde bei der Formulierung: durch jeden Punkt außerhalb einer Geraden gibt es eine und nur eine Gerade, die die erste nicht schneidet.

Andererseits war die Künstlichkeit des Axioms so in die Augen fallend, daß man schon im Altertum sich Gedanken machte, etwa so: ein so komplizierter Satz könne doch gar nicht wirklich Grundtatsache sein. Habe *Euklid* schon eine Menge von Sätzen ohne dies Axiom beweisen können, so sei es vielleicht möglich, das *Parallelenaxiom* selbst aus den übrigen Axiomen herzuleiten. So begannen die durch Jahrhunderte fortgesetzten Versuche, das *Parallelenaxiom* zu „beweisen“. Diese Versuche führten ganz methodisch endlich im 19. Jahrhundert zur vollständigen Aufklärung: man hatte natürlich versucht, indirekt vorzugehen: wäre das *Parallelenaxiom* nicht gültig, so würden sich die und die merkwürdigen Folgerungen ergeben, z. B. die Winkelsumme im Dreieck könnte nicht zwei Rechte sein, es könnte kein Rechteck und kein Paar ähnlicher Dreiecke existieren usw. Endlich gelang es fast gleichzeitig (um 1830) *Lobatschewsky* und *Bolyai*, durch höchst kunstvolle Überlegungen die Trigonometrie (d. i. die analytischen Beziehungen

zwischen den Größen der Seiten und Winkel in einem Dreieck) für den Fall der Nicht-Gültigkeit des *Parallelenaxioms* aufzustellen. Und da zeigte sich die wunderbare Tatsache: diese „Nicht-Euklidische“ Trigonometrie ist in einfachster Weise verwandt mit der Trigonometrie auf der Kugel (der sphärischen Trigonometrie). Die Formeln der Nicht-Euklidischen Geometrie entstehen aus den sphärischen, indem man alle in den Formeln vorkommenden Seiten mit  $i = \sqrt{-1}$  multipliziert, wobei die Formeln doch alle reell bleiben. (Die gewöhnlichen trigonometrischen Formeln für die Ebene bleiben übrigens bei diesem Prozeß unverändert.) Damit aber war gezeigt: *der indirekte Beweis des Parallelenaxioms ist nicht zu führen*. Man kann zu keinem Widerspruch kommen, denn, wenn die Nicht-Euklidischen Formeln widerspruchsvoll wären, dann müßten auch die gewöhnlichen sphärischen Formeln zu einem Widerspruch führen. Also: *das Parallelenaxiom ist nicht aus den übrigen Axiomen zu beweisen*. Das war ein wirklich großer mathematischer Fortschritt. Der erste Unabhängigkeitsbeweis war geführt, und man kann sich gut vorstellen, daß der junge *Bolyai* in einen wahren Rausch versetzt wurde, als er nach Überwindung außerordentlicher Schwierigkeiten dies ungeahnte Ziel erreichte.

*Lobatschewsky* und *Bolyai* haben jedoch, indem sie den durch die geschichtliche Entwicklung gegebenen Weg gingen, noch viel mehr erreicht als bloß den Unabhängigkeitsbeweis; sie haben gezeigt, daß, wenn das *Parallelenaxiom* nicht gültig ist, notwendig die oben angedeutete Nicht-Euklidische Geometrie gilt, sie haben *alle* Nicht-Euklidischen Geometrien aufgestellt. Den Unabhängigkeitsbeweis für sich konnte man später viel einfacher führen, indem sich die schönsten Realisationen der Nicht-Euklidischen Geometrie ergaben: zunächst zeigte sich, daß, wie die sphärische Trigonometrie auf der Kugel, so die Nicht-Euklidische (pseudo-sphärische) Trigonometrie auf den Flächen konstanter negativer Krümmung gilt, deren einfachstes Beispiel die durch Rotation der Tractrix um ihre Achse entstehende Fläche (Pseudosphäre) ist. (Die Geraden sind durch die geodätischen Linien zu repräsentieren) (*Beltrami*). Noch eleganter: die ganze dreidimensionale Nicht-Euklidische Geometrie wird so dargestellt: Punkte: alle Punkte im Innern einer Kugel; Geraden: alle Geraden, die die Kugelfläche schneiden; Bewegungen: alle in den Koordinaten lineare Transformationen, die das Innere der Kugel in sich überführen (*Cayley*, *Klein*). Diesem Resultat ging die bedeutungsvolle Entdeckung von *Laguerre* voraus, daß die Metrik der Euklidischen Geometrie beherrscht wird durch besonders charakterisierte lineare (projektive) Transformationen.

Dieser Unabhängigkeitsbeweis zeigt ganz evident die Stellung der Nicht-Euklidischen Geometrie, aber ganz in Ordnung war der Beweis



doch noch nicht. Zwar das Bedenken von *Bolyai*, ob nicht durch räumliche Betrachtungen sich noch ein Widerspruch ergeben könnte, war durch die Cayley-Kleinsche Darstellung erledigt, aber bedenklich bleibt: sind auch alle Axiome, die *Euklid* außer dem Parallelenaxiom braucht, ausdrücklich in dem Euklidischen Werke oder in späteren Darstellungen aufgeführt, oder brauchen *Euklid* und seine Nachfolger vielleicht stillschweigend Axiome, die zwar in der „wirklichen“ Geometrie erfüllt sind, in der Nicht-Euklidischen nicht?

In der Tat waren schon Bedenken über die Vollständigkeit des Axiomsystems aufgetaucht. Die immer wieder verbesserten Ausgaben von *Legendres* Geometrie, Bemerkungen von *Gauß* über die Notwendigkeit von Anordnungspostulaten, die vielen Bemühungen des Vaters *Bolyai* um einen einwandfreien Aufbau der Inhaltslehre sind dafür Beispiele. Dann kam von anderer Seite starke Einwirkung: Die seit dem Wiederaufleben der Mathematik sich immer stärker emporhebende Analysis brauchte nach zwei Jahrhunderten außerordentlicher Entwicklung eine solidere Fundamentierung. Seit der Wende des 19. Jahrhunderts wurde die Grundlage der Zahlen- und Funktionenlehre immer tiefer eindringend untersucht, bis endlich das Wesen der stetig ausgedehnten Größen genügend geklärt war. Ein Teil der Euklidischen Grundsätze bezieht sich aber auf die für Größen geltenden Gesetze und diese werden dadurch zu geometrischen, daß geometrische Dinge, wie Strecken, Winkel, Flächenstücke (meistens stillschweigend) als Größen angesehen werden. So lieferte die arithmetische Untersuchung den ersten wichtigen Beitrag zu dem neuen festen Bau der geometrischen Axiome, der von *Pasch* (1882) durch Ausfüllung zweier erheblicher Lücken in dem Euklidischen System vollendet wurde: Wenn auch *Euklid* durch seine Größengrundsätze die Anordnung der Strecken auf einer Geraden vollständig beherrscht, so ist doch durch jene Grundsätze über die Anordnung der Figuren in der Ebenenaturgemäß gar nichts ausgesagt. Hier ergänzt *Pasch* das alte System durch das mit Recht seinen Namen tragende Axiom: „jede Gerade, die mit einer Dreiecksseite einen Punkt gemeinsam hat, hat noch mit einer anderen Dreiecksseite einen Punkt gemeinsam.“ Eine andere wesentliche Lücke bei *Euklid* besteht darin, daß er stillschweigend beim Beweis der Kongruenzsätze die Beweglichkeit der Figuren voraussetzt, d. i. die Möglichkeit, etwa ein Dreieck mit ungeänderten Seiten und Winkeln an eine andere Stelle der Ebene zu verlegen. Diese Voraussetzung ist als Postulat gewiß schon seit *Riemann* empfunden worden, aber erstaunlicherweise in keiner Grundlegung der elementaren Geometrie zu finden. Erst *Pasch* hat die Beweglichkeit der Figuren durch Postulate formuliert und auf diese Weise wohl als erster ein vollständiges Axiomsystem aufgebaut.

Jetzt erst war der Weg zu exakten Unabhängigkeitsbeweisen frei. Da man ein vollständiges Axiomsystem hatte, so konnte man sich bei den Schlüssen ganz loslösen von geometrischer Einkleidung: Punkte, Ebenen, Anordnung, Bewegungen werden von dem spekulierenden Mathematiker allein als System von Dingen und Beziehungen zwischen diesen Dingen aufgefaßt, die eben jenen Gesetzen genügen. *Dies ist die mit vollständiger Klarheit und Konsequenz behauptete Plattform des Hilbertschen Werkes.* Hier sind die mannigfaltigsten Unabhängigkeitsbeweise durchgeführt, jeder eigentümlich durch die Stellung in dem Gesamtgebäude der Geometrie und durch die Besonderheit der angewandten mathematischen Hilfsmittel. Eng verbunden mit diesen Unabhängigkeitsbeweisen sind natürlich Abhängigkeitsbeweise, d. i. Nachweise, daß bestimmte Axiomgruppen für den Aufbau gewisser Teile der Geometrie genügen.

Durch alles dies wird das philosophische Bedürfnis nach Aufdeckung der Wege, die der menschliche Geist bis zur Erkenntnis der einfachen Eigenschaften des Raumes zurücklegen muß, wenig befriedigt. Außer dem Kantischen Motto findet sich in *Hilberts* Buch nichts, was direkt mit philosophischen Dingen zu tun hat. Es ist ausschließlich reinste Mathematik, in gewissem Gegensatz etwa zu *Euklid* und *Pasch*, die daneben der Verwurzelung der geometrischen Axiome in der Außenwelt ein Stück weit nachgehen. — Der Gegensatz von Mathematik und Philosophie tritt auch hier stark hervor: das mathematische Schaffen ist im stärksten Maße aktiv, aufbauend, fast unzerstörbar aufbauend; den Philosophen führt tiefst empfundenes Bedürfnis nach geordnetem Erkennen und Begreifen in lastender Arbeit doch immer nur zu umfassenderer Betrachtung — das Erreichen des Zieles bleibt stets ein trügerischer Traum. Den Mathematiker aber schützt vor jeder Überhebung die Gewißheit, daß alles von ihm Geschaffene von einem höheren Standpunkte, als wir ihn heute haben, selbstverständlich ist. Schon manches Gewirr von Sätzen, die in mühevoller Arbeit aufgedeckt wurden, erscheint vom höheren mathematischen Standpunkt als beinahe selbstverständliche Folge aus wenigen einfachen Tatsachen. (Man vergleiche z. B. die Kegelschnittlehre im Altertum und die moderne mit den Methoden der projektiven Geometrie entwickelte.) Dieses Schicksal des Selbstverständlichwerdens würde auf einer höheren Entwicklungsstufe die ganze Mathematik treffen.

Ich will nun versuchen, die wichtigsten Resultate *Hilberts* darzustellen:

I. *Grundlagen der projektiven Geometrie.* Im Anfang des 19. Jahrhunderts wurde durch *Poncelet* die projektive Geometrie (d. i. die Lehre von den durch Projektion sich nicht verändernden Eigenschaften der geometrischen Gebilde)

systematisch begründet und entwickelt. An diese große Darstellung knüpften sich sehr bald Überlegungen über die axiomatischen Grundlagen. Eine Menge typisch projektiver Sätze, z. B. der Satz über das vollständige Vierseit, der *Desarguessche* Satz über die perspektiven Dreiecke [gehen  $AA'$ ,  $BB'$ ,  $CC'$  durch einen Punkt, dann schneiden sich  $AB$  und  $A'B'$ ,  $BC$  und  $B'C'$ ,  $CA$  und  $C'A'$  auf einer Geraden, s. Fig. 1] lassen sich auf Grund der elementaren projektiven Axiome der Verknüpfung und Anordnung (in Zukunft mit  $L$  bezeichnet) ableiten. Doch gelang es nicht, andere für die weitere Entwicklung sehr wichtige Sätze zu beweisen, z. B. den sogenannten *Pascalschen Satz*. [Liegen  $A_1, A_2, A_3$  und  $B_1, B_2, B_3$  je auf einer Geraden, dann schneiden sich  $A_1B_2$  und  $A_2B_1$ ,  $A_2B_3$  und  $A_3B_2$ ,  $A_3B_1$  und  $A_1B_3$  auf einer Geraden, s. Fig. 2.] Die Ableitung

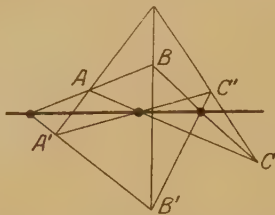


Fig. 1. Desarguesscher Satz.

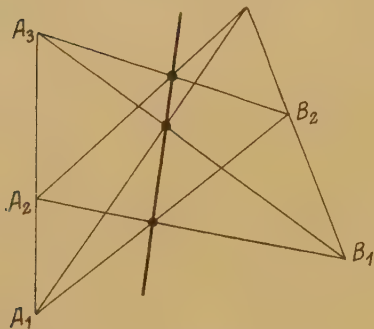


Fig. 2. Pascalscher Satz.

dieses Satzes gelang zunächst nur, wenn man noch irgendein Stetigkeitspostulat hinzunahm (v. Staudt, Darboux u. a.). Es entstehen die Fragen:

1. Ist die Ableitung der projektiven Geometrie nur mit Hilfe der  $L$ -Postulate möglich?

Wenn 1 zu verneinen:

2. Welche projektiven Sätze folgen allein aus den  $L$ -Postulaten?

3. Ist es möglich, ohne Stetigkeit, aber mit Benutzung der Kongruenzpostulate die projektive Geometrie aufzubauen?

Diese Fragen wurden zunächst durch einen Vortrag von Wiener (1891) dadurch vereinfacht, daß er den Satz aufstellte: Alle Sätze der ebenen projektiven Geometrie lassen sich mit Hilfe der elementaren ebenen Axiome der Verknüpfung und Anordnung (in Zukunft mit  $L_2$  bezeichnet) beweisen, wenn der Desarguessche und Pascalsche

Satz als gültig vorausgesetzt werden. Da der Desarguessche Satz aus der Gesamtheit der  $L$ -Axiome folgt, so konzentrierte sich das Interesse auf den Beweis des Pascalschen Satzes.

Im Jahre 1898 hat *F. Schur* den Pascalschen Satz mit Hilfe der üblichen Kongruenzaxiome, ohne Hilfe eines Stetigkeits- (sowie des Parallelen-) Axioms abgeleitet. Damit war zum erstenmal die elementare Euklidische Geometrie ohne Stetigkeit begründet, denn dazu ist eine von der Stetigkeit unabhängige Proportionslehre nötig, die zu entwickeln schon lange das Ziel nachdenklicher Geometer war, z. B. *G. Saccheris* (ca. 1700), der die Euklidische Proportionslehre genau so wie die Einführung des Parallelaxioms als „schimpflichen Fleck auf dem herrlichen Körper der Euklidischen Geometrie“ empfunden hat. Aus den allgemeinen Entwicklungen der projektiven Geometrie ergibt sich nun die Proportionslehre durch einfache Spezialisierung.

Die dritte der Fragen über die Grundlagen der projektiven Geometrie war damit positiv beantwortet. *Hilbert* hat nun die beiden andern vollständig erledigt und das hellste Licht über die vielfachen Beziehungen der Sätze von *Desargues* und *Pascal* (von jetzt an mit *Des* und *Pas* bezeichnet) und den verschiedenen Postulaten verbreitet.

Die Resultate lassen sich etwa so darstellen:

1. *Des*, der eine leichte Folge aus  $L$  ist, kann aus  $L_2$  (den ebenen  $L$ -Postulaten) nicht bewiesen werden, selbst wenn man Stetigkeitsaxiome mitbenutzt.

2. Unter Benutzung von *Des* kann man mit  $L_2$  die Ebene analytisch machen, d. i. den Punkten Paare von Zahlen (Koordinaten) zuordnen, Addition und Multiplikation dieser Zahlen durch geometrische Operationen erklären, wobei die gesamten Rechnungsgesetze mit Ausnahme der Kommutativität der Multiplikation sich als gültig erweisen. Die Koordinaten der Punkte einer Geraden befriedigen bestimmte lineare Gleichungen. Eine solche zweidimensionale analytische Geometrie kann man leicht zu einer dreidimensionalen erweitern, die Gebilde des Raumes werden dabei dargestellt durch geeignete Gebilde der Ebene, genau so wie es bei der gewöhnlichen „darstellenden Geometrie“ der Fall ist. Es erweist sich also *Des* als vollständig äquivalent mit der Tatsache, daß die ebene Geometrie in die räumliche eingebettet werden kann. Man kann etwa symbolisch schreiben:

$$Des = L + L_2$$

Wir nehmen das Resultat von 3 voraus, nach dem in einem solchen, mit Hilfe von *Des* geschaffenen Zahlensystem nicht notwendigerweise die Kommutativität der Multiplikation gilt und kommen dadurch zu der Beantwortung der Frage 2: Was folgt aus  $L$  allein? Jeder Satz in unserer Geometrie ist durch die Koordinateneinführung zu einem analytischen Satz, zu einer „Formel“ geworden. In der allgemeinen, auf



$L$  gegründeten Geometrie gelten alle diejenigen Sätze, deren analytisches Äquivalent Formeln sind, die ohne Anwendung der Kommutativität der Multiplikation gelten. Z. B. die Formel:

$$(a + b)^2 = a^2 + ab + ba + b^2$$

entspricht einem Satz, der in jeder  $L$ -Geometrie gilt, dagegen *nicht* die Formel

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2.$$

3. Da mit Hilfe der Stetigkeit aus  $L$  Pas und damit die ganze projektive Geometrie abgeleitet werden kann, müssen wir uns, um Geometrien zu finden, in denen trotz  $L$  die projektive Geometrie nicht gilt, mit unstetigen, sogenannten *Nicht-Archimedischen* Geometrien beschäftigen. [Bei *Archimedes* lautet das Stetigkeitspostulat: Es gibt stets Vielfache von  $a$ , die größer als eine vorgegebene Größe  $b$  sind.] Solche Nicht-Archimedischen Geometrien hat zuerst *Veronese* (1891) untersucht und dabei etwa denselben Weg eingeschlagen wie *Bolyai* und *Lobatschewsky*. Er hat nämlich versucht, ganz allgemeine Geometrien aufzubauen, in denen es „aktuell“ unendlich große und deswegen auch aktuell unendlich kleine Strecken gibt. Hierbei war aber die Widerspruchslöslichkeit der auftretenden geometrischen Phänomene nicht klar zu erkennen. *Hilbert* konstruiert nun zunächst eine ganz spezielle Nicht-Archimedische Geometrie, der er Zahlen zugrunde legt, die sich nach Potenzen eines Parameters  $t$  entwickeln lassen und deren Anordnung durch den Koeffizienten der niedrigsten Potenz von  $t$  entschieden wird. Aus Tripeln solcher Zahlen ist es nicht schwer, eine zweifellos widerspruchsfreie Geometrie aufzubauen, in der von allen Postulaten allein das Archimedische Postulat nicht gilt.

Ein weiterer Schritt ist nun der Aufbau eines Nicht-Archimedischen Zahlensystems, in dem das Gesetz der Kommutativität der Multiplikation nicht gültig ist. Dazu benutzt *Hilbert* Zahlen, die sich nach Potenzen zweier Parameter  $s$  und  $t$  entwickeln lassen. Bei ihrer Multiplikation ist die Beziehung

$$ts = 2st$$

anzuwenden. Durch diese Festsetzung ist das Produkt zweier Zahlen stets wieder als Summe von Gliedern der Form  $a^m s^n$  darstellbar. Die Anordnung wird entschieden durch den Koeffizienten desjenigen Gliedes unter den Gliedern mit kleinstem  $n$ , für das  $m$  den kleinsten Wert hat. Mit Hilfe dieses „nicht kommutativen“ Zahlensystems ist es nicht schwer, eine Geometrie aufzubauen, in der Pas nicht gilt, also auch nicht die ganze projektive Geometrie.

Die mannigfachen Beziehungen, die damit zwischen grundlegenden Sätzen der Geometrie aufgedeckt sind, macht vielleicht folgende Übersicht klarer [hierbei sind folgende Bezeichnungen gebraucht:  $A$ : Archimedisches Postulat;  $B$ : Postulate der Bewegungen;  $P$ : Projektive Geometrie;  $K. M.$ : Gesetz der Kommutativität der Mul-

tiplikation;  $>$ : hat zur Folge;  $\triangleright$ : hat nicht zur Folge]:

*Desarguesscher Satz und Lageaxiome.*

$$\left. \begin{array}{l} L > \text{Des} \quad (\text{Desargues, Poncelet}) \\ L_2 + \text{Des} > L \\ L_2 \triangleright \text{Des} \end{array} \right\} (\text{Hilbert})$$

*Projektive Geometrie.*

$$\left. \begin{array}{l} L + A > P \quad (\text{v. Staudt}) \\ L + B > P \quad (\text{Schur}) \\ L \triangleright P \quad (\text{Hilbert}) \\ \text{Pas} + \text{Des} + L_2 > P \quad (\text{Wiener}) \\ \text{Pas} + L_2 > P \quad (\text{Hessenberg}) \end{array} \right\}$$

*Arithmetisierung.*

$$\left. \begin{array}{l} \text{Die Geometrie ist ein dreifach aus-} \\ \text{gedehntes System gewöhnl. Zahlen} \quad (\text{Descartes}) \\ L + A > \text{Die Geometrie ist ein dreifach aus-} \\ \text{gedehntes System gewöhnl. Zahlen.} \quad (\text{v. Staudt}) \\ L + B > \text{Die Geometrie ist ein dreifach aus-} \\ \text{gedehntes System gewöhnl. Zahlen} \quad (\text{Schur}) \\ L \triangleright \text{Die Geometrie ist ein dreifach aus-} \\ \text{gedehntes System gewöhnl. Zahlen} \\ L > \text{Die Geometrie ist ein dreifach aus-} \\ \text{gedehntes System von Zahlen} \\ \text{ohne } K. M. \dots\dots\dots \end{array} \right\} (\text{Hilbert})$$

II. *Lehre vom Polygoninhalt.* Die Lehre vom Inhalt hat dadurch einen besonderen Reiz, daß sie an der Grenze der elementaren Geometrie steht. Der Inhalt schon so einfacher Figuren wie des Kreises etwa oder von Pyramiden erfordert zu seiner Bestimmung unendliche Prozesse (die auf Integration herauslaufen). Diese Probleme haben die feinsten Infinitesimalbetrachtungen der Antike, hauptsächlich von *Euklid* und *Archimedes* veranlaßt.

Es ist als eine merkwürdige Einzelercheinung anzusehen, daß die Lehre vom Inhalt ebener Polygone ohne infinitesimale Betrachtungen möglich ist. Das hat schon im wesentlichen *Euklid* durchgeführt. Aber er benutzt hierbei das Postulat, daß der Inhalt Größeneigenschaft hat, was für Polygone aus den übrigen Axiomen (ohne Stetigkeitspostulat) bewiesen werden kann. Die Frage ist von vielen Mathematikern im 19. Jahrhundert behandelt, aber erst *Hilbert* hat sie vollständig zum Abschluß gebracht durch folgende Betrachtungen: 1. Man kann für ein Polygon (durch Zerlegung in Dreiecke) ein Inhaltmaß einführen und zeigen, daß die Summe der Inhaltmaße der Teile unabhängig von der Zerlegung ist. (Zu diesem Nachweis muß man die Proportionalsätze benutzen.) Daraus folgt sofort, daß man ein Polygon  $\Pi_1$  nicht so zerlegen kann, daß man aus seinen Teilen ein  $\Pi_2$  umschließendes Polygon  $\Pi_2$  zusammensetzen kann [„das Ganze ist größer als sein Teil“]. Dieser Satz ist häufig als Postulat aufgestellt worden.

2. Umgekehrt: Haben  $\Pi_1$  und  $\Pi_2$  gleich s Inhaltmaß, dann kann man zu  $\Pi_1$  u d  $\Pi_2$  beziehungsweise kongruente Dreiecke  $\triangle_1', \triangle_2' \dots$  resp.  $\triangle_1'', \triangle_2'' \dots$  hinzufügen, so daß die Gesamtweiten  $(\Pi_1, \triangle_1', \triangle_2' \dots)$  und  $(\Pi_2, \triangle_1'', \triangle_2'' \dots)$

in paarweise kongruente Stücke zerlegt werden können. (Der Nachweis folgt unmittelbar aus Euklids „Verwandlung“ des Dreiecks in ein Rechteck.)  $\Pi_1$  und  $\Pi_2$  sind aber als inhaltsgleich zu bezeichnen, denn sie sind je als Differenz zweier aus beziehungsweise kongruenten Teilen zusammengesetzter Polygone darstellbar.

III. Begründung der Geometrie mit Grundlegung der Gruppeneigenschaft der Bewegung<sup>1)</sup>. Gibt man einmal als anschaulich begründet zu, daß die Punkte der Ebene durch eine zweifache Zahlenmannigfaltigkeit dargestellt werden können, wobei unendlich benachbarten Punkten Paare von unendlich wenig verschiedenen Koordinaten entsprechen, dann ist die gruppentheoretische Begründung der Geometrie sehr naheliegend und führt zu außerordentlich einfachen Resultaten. Sie ist besonders von *S. Lie* ausführlich behandelt worden. Während aber *Lie* von der Gruppe der Bewegungen eine Menge Eigenschaften voraussetzt (z. B. Differenzierbarkeit der sie darstellenden Funktionen, Parameteranzahl usw.), die mit der Anschauung wenig Verbindung haben, ist es *Hilbert* durch eine schwierige Untersuchung gelungen, folgende einfachen Eigenschaften als genügend zur Charakterisierung der (Euklidischen und Nichteuklidischen) ebenen Bewegungen nachzuweisen: Die Bewegungen sind stetige, eindeutige Transformationen der Ebene, die den Umlaufssinn der Kurven nicht ändern, sie bilden eine „abgeschlossene“ Gruppe, und es gibt unendlich viele Bewegungen, die einen Punkt ungeändert lassen.

[Die Eigenschaft „abgeschlossen“ soll bedeuten: Die Grenze einer konvergenten Folge von Bewegungen ist wieder eine Bewegung, oder ausführlich: „Wenn es Bewegungen gibt, durch welche Punktetripel in beliebiger Nähe des Punktetripels  $ABC$  in beliebige Nähe des Punktetripels  $A'B'C'$  übergeführt werden können, so gibt es stets auch eine solche Bewegung, durch welche das Tripel  $ABC$  genau in  $A'B'C'$  übergeht.“]

Es wird also nicht nur nicht etwa die Differenzierbarkeit der die Bewegung darstellenden Funktionen vorausgesetzt, sondern nicht einmal gefordert, daß die Bewegungsgruppe transitiv ist, d. i., daß jeder Punkt in jeden andern durch eine Bewegung übergeführt werden kann, oder daß eine Bewegung, die zwei Punkte ungeändert läßt, alle Punkte ungeändert läßt. Es ist wirklich erstaunlich und, wie mir scheint, ganz abgesehen von der Fragestellung in den Grundlagen der Geometrie, von großem Interesse für die Theorie der stetigen Transformationen, daß diese bescheidenen Voraussetzungen bereits die ebenen Bewegungen unter den allgemeinen ebenen Transformationen charakterisieren. Es ist klar, daß

<sup>1)</sup> Eine Menge von verknüpfbaren Operationen heißt eine Gruppe, wenn diese Verknüpfung alle Gesetze etwa der gewöhnlichen Multiplikation befriedigt, außer der Vertauschbarkeit der Faktoren.

dies Resultat dazu anregt, auch andere Transformationsgruppen durch solche allgemeine, von der Darstellung unabhängige Eigenschaften zu charakterisieren. Hierbei muß man, ebenso wie *Hilbert*, den ausgiebigsten Gebrauch machen von den Methoden der modernen Theorie der stetigen Funktionen.

IV. Eine sehr merkwürdige Untersuchung macht *Hilbert* über die Stellung der Spiegelungen gegenüber den eigentlichen Bewegungen der Ebene in sich. Es zeigt sich:

1. Unter Voraussetzung der Stetigkeit folgt aus der Existenz der eigentlichen ebenen Bewegungen die Euklidische Geometrie, insbesondere also auch die Möglichkeit der Spiegelung.

2. Es gibt aber *unstetige* ebene Geometrien, in denen zwar die eigentlichen Bewegungen der Ebene, aber keine Spiegelungen möglich sind. Diese Geometrie wird wieder durch ein besonderes Nicht-Archimedisches (und Nicht-Pascalsches) Zahlensystem konstruiert.

Es eröffnet sich hier der Blick auf ein sehr weites, noch vollständig unerforschtes Gebiet: systematische Untersuchung der allgemeinen Zahlensysteme, in denen die Multiplikation nicht kommutativ ist. Es hat den Anschein, als wenn dieses Gebiet, das eine höhere Stufe der Gruppentheorie darstellt, reich ist sowohl an allgemeinen Gesetzen, wie an besonderen Einzelercheinungen.

Im vorstehenden haben wir versucht, die wichtigsten Forschungen, die *Hilbert* in den Grundlagen der Geometrie ausgeführt hat, darzustellen. Aber neben all dem Neuen, was sich uns hier darbietet und leicht noch wesentlich hätte vermehrt werden können, gibt es etwas, wovon man durch eine Übersicht keinen Begriff geben kann, das ist die Form der Hilbertschen Darstellung. Und sicher ist die glänzende Formung wissenschaftlicher Ideen eine Leistung, so wertvoll wie die der ersten Auffindung und von stärkstem Einfluß auf die geschichtliche Entwicklung. Die Werke von *Bolyai* und *Lobatschewsky*, sowie von *Pasch* mit ihrem unschätzbaren mathematischen Inhalt haben auf die breite Masse der Interessenten nur wenig Eindruck gemacht. Aber der *Hilbert* eigentümliche Geist, der gerade in den geometrischen Arbeiten so stark spürbar ist, logische Kraft verbunden mit starkem Temperament, übliche Formen mißachtend, unhistorisch, das Wesentliche mit gleichsam Kantischem Vergnügen an Antithese formend und mit nie trügender Sicherheit höchst wirkend darstellend, die Freiheit des mathematischen Denkens radikal ausnutzend, das hat dem geometrischen Werk von *Hilbert* erst den großen Einfluß auf die Mathematiker unserer Generation gegeben, hat eine Umwälzung in ihrem Denken herbeigeführt, die mit den großen Umwälzungen in der Geschichte der Mathematik wohl verglichen werden kann.



## Hilbert als Analytiker.

Von R. Courant, Göttingen.

Die Bedeutung wissenschaftlicher Leistungen liegt oft nicht allein in dem Material an neuen Tatsachen, welches zu dem schon vorhandenen hinzugefügt wird; nicht minder wichtig für die Entwicklung der Wissenschaft kann eine Einsicht sein, wenn sie Ordnung, Einfachheit und Klarheit in ein vorhandenes aber schwer zugängliches Gebiet bringt und so die Übersicht, Erfassung und Beherrschung der Wissenschaft als einer Einheit erleichtert oder überhaupt erst ermöglicht.

Man darf bei den Hilbertschen Arbeiten auf dem Gebiete der mathematischen Analysis auch diesen Gesichtspunkt nicht vergessen, wenn man ihrer Bedeutung nach allen Seiten hin gerecht werden will. Hilberts Untersuchungen über Variationsrechnung und das Dirichletsche Prinzip sowie die Arbeiten über die Theorie der Integralgleichungen zeigen alle das bewußte Bestreben, an der Lösung neuer Probleme Methoden zu finden, welche das ehemals Schwere leicht machen, neue Zusammenhänge in vorhandenen Materialien erschließen und den sich verästelnden Fluß von Einzeluntersuchungen in ein gemeinsames Bett zurückleiten.

Schon in den Anfangsstadien der modernen mathematischen Entwicklung haben Fragen der Variationsrechnung die Aufmerksamkeit der Mathematiker auf sich gezogen. Die Natur selbst drängte zum Ausbau dieses Wissenszweiges. Frühzeitig bemerkte man, daß irgendwie bei den Gesetzen der Physik stets ein Minimumprinzip zu walten scheint. Ein Lichtstrahl läuft in einem unhomogenen Medium so, daß er in einem möglichst kleinen Zeitabschnitt von einem seiner Punkte zu einem späteren gelangt; diese Tatsache ist der einfachste Ausdruck des Brechungsgesetzes. Eine Membran aus Seifenlösung spannt sich unter der Wirkung der Kapillarität in den Rahmen einer gegebenen geschlossenen Raumkurve so ein, daß sie einen möglichst kleinen Flächeninhalt einnimmt; ein elektrischer Strom durchfließt bei gegebenen Spannungsverhältnissen an der Oberfläche einen leitenden Körper derart, daß dabei die entwickelte Wärmemenge ein Minimum wird. Man lernte bald, daß sich durch ähnliche Minimalforderungen die allgemeinsten Gesetze der Mechanik, ja der Physik überhaupt, auf die kürzeste und prägnanteste Form ausdrücken lassen. Unbeschadet der naturphilosophischen Frage, ob wir in diesem Faktum mehr zu sehen haben als eine sonderbare dankbar hinzunehmende Möglichkeit, verwickeltere Gesetze einfach und handlich zusammenzufassen, oder ob diese Minimalprinzipien der Physik uns auf tiefere Zusammenhänge hinweisen — der mathematischen Analysis als der Wissenschaft von den mathemati-

schen Formen des Naturgeschehens erwächst daraus die Aufgabe, Minimumprobleme der geschilderten Art systematisch zu untersuchen; und diese Fragestellung bedeutet den Ausgangspunkt der Variationsrechnung. Es handelt sich dabei nicht um solche Maximum- oder Minimumprobleme, wie sie ursprünglich mit den Anstoß zur Ausbildung der Differentialrechnung gegeben haben und wie sie heute vielfach in den Schulunterricht übergegangen sind. Bei diesen elementaren Minimumaufgaben soll, anschaulich gesprochen, auf einer gegebenen Kurve oder Fläche ein höchster oder tiefster Punkt gefunden werden. (Der Mathematiker darf dabei vor einem „Raum mit vier und mehr Dimensionen“ und darin liegenden Gebilden nicht zurückscheuen.) In der Variationsrechnung dagegen wird nicht ein einzelner Punkt auf einer Kurve oder Fläche gesucht, sondern der Gesamtverlauf einer solchen Kurve oder Fläche ist das unbekannte, aufzusuchende Objekt. So z. B., wenn auf einer gegebenen Fläche, etwa dem Erdellipsoid, zwischen zwei Punkten die kürzeste (geodätische) Verbindungslinie gezogen oder in eine geschlossene Raumkurve die Lamelle kleinsten Flächeninhaltes eingespannt werden soll. Wie die elementaren Minimumprobleme direkt auf den Prozeß der Differentiation hinführen, so erhält man aus den Variationsaufgaben Differentialgleichungen, und es ist daher kein Wunder, wenn die wichtigsten Theorien über die Differentialgleichungen, soweit sie in der Physik von Bedeutung sind, eng mit der Variationsrechnung zusammenhängen. Trotzdem hiernach die Variationsrechnung eine so zentrale Stellung innerhalb der mathematischen Analysis einzunehmen berufen scheint, trotzdem fast alle großen Mathematiker des 18. und 19. Jahrhunderts an ihrem Aufbau mitgewirkt haben und noch in der vorigen Generation durch die Untersuchungen von Weierstraß neue bedeutende Fortschritte erzielt und mannigfache Anregungen hinausgetragen wurden, ist diese Disziplin bis in die jüngste Zeit hinein in den Augen vieler Fachgenossen und noch zahlreicher Physiker nur ein Spezialgebiet, und nicht einmal ein besonders zugängliches, gewesen. Wenn diese Auffassung sich in den letzten Jahrzehnten gründlich geändert hat, wenn allmählich die überall klärend und vereinfachend wirkenden Gesichtspunkte der Variationsrechnung Gemeingut der mathematischen Kreise geworden sind, so ist das nicht zuletzt dem Impuls zu danken, welcher von den Hilbertschen hierhergehörigen Arbeiten und seinen persönlichen Anregungen ausgeht. Mag er nun für alte Theoreme neue strenge und durchsichtige Beweise geben, oder wie im Falle der — heute im Anschluß an die Quantentheorie auch bei den Physikern so aktuellen

— Hamilton-Jacobischen Theorie schlagende Formulierungen finden, welche die vielfachen scheinbar vereinzelt und zusammenhanglos nebeneinanderstehenden Tatsachen mit einem Griff zusammenfassen und in ein gemeinsames Licht stellen, so daß nunmehr der Weg für weitgehende Verallgemeinerungen frei wird, oder mag er schließlich, wie in den Arbeiten über das absolute Minimum der wissenschaftlichen Fragestellung eine ganz neuartige und höchst fruchtbare Wendung geben — stets ist mit dem Ergebnis der Arbeit zugleich etwas für die Einfachheit und Einheit der mathematischen Wissenschaft überhaupt gewonnen. Unter allen hierhergehörigen Hilbertschen Abhandlungen hat wohl die über das „Dirichletsche Prinzip“ den größten Einfluß ausgeübt und ist für die Hilbertsche Denkart am meisten charakteristisch.

Um diese Leistung dem Verständnis näher zu bringen, ist es nötig, mit einigen Worten auf den Entwicklungsgang unserer Wissenschaft in der neueren Zeit einzugehen. Mit der Ausbildung der Differential- und Integralrechnung im 17. Jahrhundert setzte eine glänzende Epoche mathematischen Lebens ein; in raschem Fluß bis tief hinein ins 19. Jahrhundert folgten sich die wichtigsten Entdeckungen; ein gigantischer, fast unübersehbarer Wissensstoff türmte sich zu einem Gebirge, das auch heute noch keineswegs eingebeut ist. Aber bei dieser stürmischen Entwicklung gingen die Maßstäbe mathematischer Strenge und Klarheit vielfach verloren, welche von den Griechen überkommen waren. Die „höhere Mathematik“ wurde wirklich eine Art Geheimwissenschaft, wo man sich auf einen guten wissenschaftlichen Instinkt ebenso verlassen mußte wie auf klar präzisierbare Einsicht, wenn man bei der Handhabung der neuen Methoden nicht vom richtigen Wege abirren wollte. „Allez en avant, et la foi vous viendra“, dieses Motto ist recht bezeichnend für den unkritischen Geist dieser, wie eine Naturkraft hervorbrechenden, mathematischen Produktivität. Die Reaktion in Gestalt kritischer Selbstbesinnung konnte nicht ausbleiben; ein großer Teil der mathematischen Arbeit im 19. Jahrhundert ist der Aufgabe gewidmet, für das früher Geschaffene die tragfähigen Fundamente zu finden und die Mathematik wieder zu derselben Höhe von Strenge und Sicherheit zu führen, die sie im Altertum erreicht hatte. Eine der ersten charakteristischen Leistungen in dieser Hinsicht war die Doktordissertation von *Carl Friedrich Gauß*, dem princeps mathematicorum, wie man später mit vollem Recht diesen gewaltigen Geist genannt hat. In dieser Arbeit wird zum ersten Male in bewußter strenger Form ein Existenzbeweis geführt, und zwar der Beweis des Satzes, daß jede algebraische Gleichung  $n$ ten Grades auch wirklich  $n$  Wurzeln besitzt. Während man sich früher einfach naiv das Problem stellte, „die“ Wurzeln einer Gleichung zu finden, wird hier sachgemäß die Vorfrage aufgeworfen und in

positivem Sinne entschieden, ob überhaupt eine Lösung des Problems notwendig existieren muß. Von da ab sind zahlreiche mathematische Untersuchungen solchen Existenzbeweisen gewidmet; das geheimnisvolle Wörtchen „es gibt“ spielt in der Mathematik des 19. Jahrhunderts eine große Rolle (eine Rolle übrigens, welche ihrerseits auch wieder neue kritische Betrachtungen herausgefordert hat). Das mathematische Bedürfnis, solche Existenzbeweise für die Lösungen zu finden, dehnt sich auch auf solche Probleme aus, welche aus der Physik oder Mechanik entspringen.

Hier ist es nötig, etwas über die Einwendungen zu sagen, welche von physikalischer Seite gelegentlich gegen die mathematischen Existenzbeweise als etwas Überflüssiges und Wertloses erhoben worden sind; unter bestimmten physikalischen Bedingungen — so argumentiert man — muß ein physikalischer Vorgang in ganz bestimmter Weise ablaufen, und daher müssen die entsprechenden mathematischen Probleme, mögen sie sich auf Differentialgleichungen beziehen oder sonstwie geartet sein, notwendig eine bestimmte Lösung besitzen, für die einen darüber hinausgehenden mathematischen Existenzbeweis zu führen, mehr oder weniger Spitzfindigkeit sei. Dieses Argument scheint mir am Ziele völlig vorbei zu gehen. Abgesehen davon, daß mathematische Theorien ihre Wahrheit in sich tragen müssen und sie nicht aus den Gesetzen der physikalischen Natur entlehnen können, ist gerade die Führung des mathematischen Existenzbeweises auch von prinzipiellem Interesse für die Frage der mathematischen Darstellung physikalischer Phänomene; gewiß kann deren Existenz und Realität nicht durch mathematische Betrachtungen bewiesen werden (gegen eine solche Behauptung würde sich der Physiker mit Recht wenden), wohl aber bestätigt der mathematische Existenzbeweis, daß der mathematische Ansatz dem wirklichen realen Vorgang adäquat ist; und schließlich ist vom Standpunkt der Praxis noch zu sagen, daß in vielen Fällen der Existenzbeweis zugleich auch ein Mittel liefert, um die Lösung in praktisch brauchbarer Form wirklich herzustellen.

Wie dem auch sei, unter den mathematischen Existenzbeweisen, welche für die Entwicklung der Mathematik im 19. Jahrhundert von Bedeutung sind, spielen gerade diejenigen eine hervorragende Rolle, die sich im Anschluß an physikalische Vorstellungen auf Betrachtungen der Variationsrechnung stützen. Insbesondere gilt dies für den grandiosen funktionentheoretischen Gedankenkreis, welcher um die Mitte des Jahrhunderts von *Bernhard Riemann*, dem unvergleichlich tiefsinnigen Forscher, geschaffen wurde. Der gewaltige Bau seiner Theorie der „Abelschen Funktionen“ ruht auf solchen Existenzbeweisen, die mit Gedanken der Variationsrechnung arbeiten. Worum es sich dabei handelt, läßt sich im Anschluß an die physikalische Vorstellung etwa so verständlich machen: Man denke sich irgendeine Fläche im



Räume, möge sie nun das Aussehen einer Kugel oder eines Ellipsoides, oder z. B. einer diesen Flächen innerlich ganz wesensfremden Ringfläche oder noch kompliziertere Gestalt haben, möge sie geschlossen sein oder Ränder besitzen. Stellen wir uns nun diese Fläche mit einer elektrisch leitenden Schicht bedeckt vor und denken wir in zwei beliebigen ihrer Punkte den positiven und negativen Pol einer elektrischen Stromquelle eingesetzt, so wird gewiß, das sagt die physikalische Anschauung, ein ganz bestimmtes stationäres Strömungsbild auf der Fläche das Ergebnis sein, im einzelnen noch abhängig von der Natur der Fläche, ihrer Berandung, der Lage der Pole usw. Ganz analoge Probleme ergeben sich bei der Wärmeleitung, der Strömung von Flüssigkeiten usw. Mathematisch gesprochen handelt es sich dabei um gewisse, sogenannte Randwertprobleme für partielle Differentialgleichungen, und zwar gerade um solche Probleme, wie sie sich aus der Variationsrechnung ergeben; die entsprechenden Variationsprobleme verlangen nämlich in der Hauptsache, daß beim wirklichen Strömungsvorgang die entwickelte Joulesche Wärme geringer wird als bei anderen denkbaren Strömungen. Wenn man es als selbstverständlich hinnimmt, daß eine solche Minimumforderung durch geeignete Funktionen erfüllt werden kann, dann ist hiermit der Existenzbeweis für die Randwertaufgaben der Funktionentheorie ohne weiteres gegeben; *Riemann* verfuhr so und gab dieser Schlußweise den historisch gewordenen Namen „Dirichletsches Prinzip“; sein ganzes stolzes und im höchsten Sinne geniales Gebäude, vielleicht im 19. Jahrhundert die großartigste Schöpfung mathematischer Spekulation, ruhte auf der vermeintlichen Selbstverständlichkeit dieser Annahme.

Da kam die berühmte Kritik von *Weierstraß*, dem Manne, der wie kein anderer als Exponent des kritischen Geistes in der Mathematik des 19. Jahrhunderts gelten kann: *Weierstraß* wies darauf hin und zeigte an ganz einfachen Beispielen, daß ein Minimumproblem der Variationsrechnung überhaupt unter Umständen keine Lösung zu haben braucht, daß also auch für die Riemannschen Variationsprobleme die Existenz der Lösungen keineswegs eine Selbstverständlichkeit war, sondern eines Beweises bedurfte. Weit und breit in der mathematischen Rüstkammer war aber kein Mittel zu finden, das diesen fehlenden Existenzbeweis liefern konnte; das ganze stolze Riemannsche Gebäude stand plötzlich scheinbar ohne Fundament.

Ein solches fatales Beispiel eines sehr vernünftig anmutenden Variationsproblems, welches keine Lösung besitzt, ist folgendes: Man soll zwei Punkte  $A$ ,  $B$  durch eine möglichst kurze Kurve ohne Ecken verbinden, welche im Punkte  $A$  senkrecht auf der Geraden  $AB$  steht. Wie die Figur lehrt, kann man die Verbindungskurve so eng, wie man will, an die Gerade  $AB$  anschmiegen, ihre Länge so nahe, wie man will, an die Länge der

Strecke  $AB$  heranbringen, und doch kann offenbar diese Länge nicht genau gleich der Länge  $AB$  der kürzesten, geraden, Verbindung sein, sondern muß immer etwas größer bleiben, weil die Bedingung des Senkrechtstehens in  $A$  verbietet, daß die Verbindungslinie ganz in die Gerade  $AB$  hineinfällt. Das Minimumproblem hat also keine Lösung. Denn es gibt unter den zugelassenen Wegen keinen kürzesten.



Die Folge der Weierstraßschen Kritik war, daß man ratlos und bedauernd den Riemannschen Gedankengängen den Rücken kehrte und erst auf außerordentlich mühsamen, ganz anderen Wegen allmählich so weit kam, die wichtigsten Teile der Riemannschen Resultate doch zu sichern, wobei allerdings die wunderbare Architektonik des Baues sehr gelitten hat. Nur wenige Mathematiker hegten die Hoffnung, daß vielleicht in späteren Zeiten einmal die Wiederbelebung der ursprünglichen Riemannschen Ideen gelingen würde. Aber wie, das blieb ein Rätsel.

Es gehörte die ganze Unbefangenheit und Freiheit von dem Druck der Tradition dazu, welche nur den wirklich großen Forschern eigen ist, um das scheinbar vollständig unzugängliche Problem der Rettung des Dirichletschen Prinzips anzugreifen. *Hilbert* besaß den Mut, er versuchte es, und es glückte. Ganz neuartige, viel bewunderte Überlegungen von höchstem Scharfsinn mußten angewandt werden, und mühsam mußte der Leser der Hilbertschen Arbeit um das Verständnis ringen, aber das große entscheidende Ziel war erreicht: es war für die Analysis ein neues Hilfsmittel geschaffen, welches die Möglichkeit gab, aus dem Dirichletschen Prinzip eine wirkliche Beweismethode zu gestalten. Von diesen Hilbertschen Untersuchungen sind viele andere Forscher angeregt worden, und das Ergebnis aller dieser Bestrebungen ist, daß man heute die alten Riemannschen Schlußweisen bei völliger Strenge mit einer Einfachheit und Durchsichtigkeit handhaben kann, welche der inneren Einfachheit des zugrunde liegenden physikalischen Bildes entspricht.

Über die weiteren Fortschritte zu berichten, welche die Hilbertschen Ideen im Gebiete der Variationsrechnung mit sich brachten, dazu fehlt hier der Raum. Wir müssen noch einen Blick auf ein anderes Arbeitsgebiet der Analysis werfen, dem *Hilbert* ein gut Teil seiner Kraft gewidmet hat, die Theorie der Integralgleichungen.

Diese Theorie ist in ihrer jetzigen Form ein Kind des 20. Jahrhunderts. Der schwedische

Mathematiker *Ivar Fredholm* entdeckte mit scharfem Blick, daß gewisse wichtige Funktionalgleichungen, die zur Bestimmung von Funktionen bei Problemen der mathematischen Physik dienen, eine Form besitzen, welche eine starke Analogie mit viel elementarerem mathematischen Aufgaben, nämlich den Aufgaben aus der Lehre von den linearen Gleichungen, zeigt; diese Funktionalgleichungen, deren Form nachträglich in nuce schon bei zahlreichen früheren Untersuchungen erkennbar wurde, erhielten später den Namen Integralgleichungen; *Fredholm* gab in seiner klassischen Arbeit eine sehr elegante Auflösungstheorie, und die neuen Ansätze fesselten bald das Interesse vieler Mathematiker. Aber man kann wohl sagen, daß erst durch das Eingreifen der Hilbertschen Untersuchungen die wahre Bedeutung der Integralgleichungstheorie herausgestellt worden ist; ihre mannigfachen Beziehungen zu den verschiedensten Gebieten der Mathematik, ihre vielseitige Anwendungsfähigkeit und die innere Harmonie und Einfachheit ihrer Struktur, ihre zusammenfassende Tendenz gegenüber zahlreichen Einzeluntersuchungen wurden den Fachgenossen erst richtig offenbar aus der Folge von großen Abhandlungen, welche *Hilbert* hintereinander seit dem Jahre 1904 veröffentlicht hat, und welche nun als Buch zusammengefaßt vorliegen. Wir wollen versuchen, die gedankliche Tendenz dieser Arbeiten etwas näher zu schildern und damit einen Einblick in die erstaunliche Mannigfaltigkeit des Inhaltes zu geben. Die erste Abhandlung enthält zunächst eine neue Ableitung der allgemeinen Fredholmschen Theorie, welche den einfachen Grundgedanken dieser Theorie bloßlegt; aber schon hier geht *Hilbert* einen entscheidenden Schritt weiter, indem er die tiefe innere Verwandtschaft des Integralgleichungsproblems mit dem elementaren Problem der Ablösung von  $n$  linearen Gleichungen mit  $n$  Unbekannten konsequent verfolgt. Er erkennt die besonders wichtige Sonderstellung, welche vor allem eine bestimmte Klasse von Integralgleichungen, die sogenannten symmetrischen Integralgleichungen, einnimmt; ein symmetrisches lineares Gleichungssystem steht nämlich in engster Beziehung zur geometrischen Theorie der Flächen zweiter Ordnung (der Ellipsoide usw.), wobei man natürlich bei größerer Variabelnzahl in einen „Raum von mehr Dimensionen“ hineinsteigen muß. Genau so, wie es nun bei diesen Flächen zweiter Ordnung Hauptachsen oder Fundamentalrichtungen gibt, erhält man bei den symmetrischen Integralgleichungen entsprechende Lösungsfunktionen, Fundamentallösungen oder Eigenfunktionen genannt, welche im allgemeinen in unendlicher Anzahl vorhanden sind und sofort einen Platz im Brennpunkt des Interesses einnehmen. Es zeigt sich nämlich, daß diese Theorie der Eigenfunktionen in unmittelbarem Zusammenhange steht mit der physikalischen Theorie der Eigenschwingungen. Jedes schwingungsfähige

physikalische System vermag bekanntlich gewisse rein periodische Eigenschwingungen auszuführen, deren Anzahl je nach der Anzahl der Freiheitsgrade des Systems endlich oder unendlich ist; so z. B. kann eine Saite die unendliche, als Grundton und Obertöne bekannte Folge von Eigenschwingungen ausführen, welche sich mathematisch bekanntlich als reine Sinusbewegungen ausdrücken lassen. Seit den Zeiten von *Bernoulli* hat man gelernt, eine beliebige freie Schwingung eines solchen Systems aufzufassen als einen Superpositionsvorgang aus einer nötigenfalls unbegrenzt fortschreitenden Reihe solcher mit verschiedener Stärke vertretenen Eigenschwingungen. (Man denke etwa an die Helmholtzsche Theorie der Klangfarbe.) Das Gebiet der harmonischen Analyse ist nichts als eine Ausführung dieses Gedankens. Mathematisch gesprochen handelt es sich um die Entwicklung willkürlicher Funktionen in unendliche nach Sinusfunktionen fortschreitende Reihen, sogenannte Fouriersche Reihen. Jedes andere Schwingungsproblem, so z. B. das der schwingenden Membran oder Platte, führt auf andere solche Eigenfunktionsysteme und entsprechende Reihenentwicklungen. Die Theorie der symmetrischen Integralgleichungen faßt nun alle diese bisher getrennt nebeneinanderstehenden Dinge unter einem einheitlichen Gesichtspunkt zusammen; sie lehrt, wie man willkürliche Funktionen nach den Eigenfunktionen einer symmetrischen Integralgleichung entwickeln kann, und da sich andererseits alle die genannten Schwingungsprobleme als Integralgleichungsprobleme umschreiben lassen, so hatte man hier einen einheitlichen Zugang zu diesem wichtigen Gebiet der Reihenentwicklungen gefunden und konnte auf dem betretenen Wege viel weitergehende mathematische Resultate erzielen, als das vorher gelungen war. Zahlreiche frühere Untersuchungen über diese Fragen — ich nenne hier nur die treffend erschaute, aber mathematisch nicht genügend begründeten Gedankenbildungen von Lord *Rayleigh* in seiner „Theorie of sound“ — erhielten so eine gemeinsame Basis. Diesen Untersuchungen ist ein großer Teil der zweiten Hilbertschen Abhandlung gewidmet: doch ist in ihr noch mehr enthalten: die Anwendung der Integralgleichungstheorie auf die Randwertaufgaben der Differentialgleichungen der mathematischen Physik. Auch dieses, mit dem vorgenannten in engem Zusammenhange stehende Gebiet erfährt hier entscheidende Förderung.

In ein ganz anderes Anwendungsgebiet führt uns die dritte Abhandlung: hier wird ein außerordentlich schwieriges, bis dahin ganz unzugängliches Fundamentalproblem aus der funktionentheoretischen Theorie der linearen Differentialgleichungen angepackt und mit kräftigen Fäusten bezwungen, und ebenso zeigen die weiteren Abhandlungen in den verschiedensten Anwendungen auf Geometrie, Funktionentheorie, mathematische



Physik usw., wie mannigfach die neuen Ideen sich verwenden lassen.

Von der größten prinzipiellen Bedeutung ist jedoch ein allgemeiner Gedanke, der sich bei *Hilbert* aus der Integralgleichungstheorie herauschält; das ist die Idee der Lehre von Funktionen unendlich vieler Veränderlicher. Man kann die Analogie der Integralgleichung mit einem gewöhnlichen linearen Gleichungssystem am einfachsten dadurch kennzeichnen, daß man an Stelle eines Gleichungssystems mit 100 oder 1000 oder  $n$  Unbekannten durch einen kühnen Grenzübergang ein solches von unendlich vielen Gleichungen mit unendlich vielen Unbekannten setzt. Welche großen mathematischen Schwierigkeiten hinter einer solchen Theorie unendlicher Gleichungssysteme stecken, läßt sich dem Außenstehenden nicht so leicht begreiflich machen; genug, daß es *Hilbert* gelang, diese Schwierigkeiten zu überwinden und eine Theorie der unendlichen linearen Gleichungssysteme sowie der quadratischen Funktionen von unendlich vielen veränderlichen Größen zu schaffen, welche an Einfachheit und Durchsichtigkeit der Ergebnisse und Methoden den elementaren Theorien nicht nachsteht. Aus dieser allgemeinen Theorie ergeben sich dann die Sätze über Integralgleichungen und die Methoden ihrer Behandlung als fast selbstverständliche Forderungen. Aber diese neuen Gedanken weisen über das hiermit erreichte Ziel hinaus. Schon bei der Lehre von den quadratischen Funktionen von unendlich vielen Variablen ergeben sich, wenn man die Voraussetzungen nicht zu eng faßt und den Dingen tiefer auf den Grund geht, Resultate von ganz neuartigem Charakter, wie sie bei der gewöhnlichen Theorie und ihrem geometrischen Bilde, der Lehre von den Flächen zweiter Ordnung im Raume, keineswegs auftreten; neue Ergebnisse, welche auch zu alten, schwer zugänglichen Theorien, z. B. der berühmten Kettenbruchtheorie des holländischen Mathematikers *Stieltjes* in engem Zusammenhange stehen und diese Dinge neu beleuchten. Aber wir erheben uns erst dann zu der ganzen Höhe der prinzipiellen Auffassung vom Wesen der großen Fragen aus der mathematischen Analysis, wenn wir der allgemeinen Hilbertschen Idee von den Funktionen unendlich vieler Variabler folgen. Für den Physiker scheint diese Idee etwas durchaus nicht Fernliegendes zu sein. Ihm ist es als eine Selbstverständlichkeit bewußt, daß es neben den Systemen von endlich vielen Freiheitsgraden viele physikalische Systeme gibt, welche nicht endlich viele Freiheitsgrade besitzen, d. h. deren Lage in einem Zeitmoment sich nicht durch Angabe einer bestimmten Anzahl von Größen, der „Koordinaten“ oder unabhängigen Variablen des Systems charakterisieren läßt, sondern weitergehende Festlegungen erfordert; so z. B. ist die Lage eines starren Körpers durch die Angabe seiner Schwerpunktskoordinaten im Raume und

der Richtungen seiner Trägheitsachsen festgelegt, also durch endlich viele Koordinaten, während die Lage einer schwingenden Membran oder Saite nie durch endlich viele Zahlen eindeutig charakterisiert werden kann, sondern stets erst durch den Verlauf einer ganzen, von ihr eingenommenen Fläche oder Linie, also einer Funktion bestimmt ist. Wir haben es hier eben mit Systemen von unendlich vielen Freiheitsgraden zu tun. In der Tat kann man den Verlauf einer Funktion, gleichviel ob diese nun durch eine Kurve oder Fläche repräsentiert wird, durch Angabe einer unendlichen Folge von „Koordinaten“ festlegen, etwa indem man die Funktion in Fouriersche Reihen oder verwandte Reihen entwickelt denkt und dann die Koeffizienten der Entwicklung als die unabhängigen Bestimmungsstücke ansieht. Die Energie und alle sonst mit dem System zusammenhängenden physikalischen Größen erscheinen dann als Funktionen dieser unendlich vielen Bestimmungsstücke, d. h. eben als Funktionen von unendlich vielen Variablen. Mathematisch stoßen wir ebenfalls auf Schritt und Tritt in der Analysis auf diesen Begriff. Überall, wo eine Größe von dem Verlauf einer Funktion abhängt, wie die Länge einer Kurve vom Verlaufe der Kurve oder die Höhe des Schwerpunktes einer Fläche vom Verlaufe dieser Fläche, z. B. überall in der Variationsrechnung, aber auch sonst in der Theorie der Differentialgleichungen, in der ganzen mathematischen Physik usw. haben wir es mit Funktionen von unendlich vielen Variablen zu tun, oder wie *Volterra*, der bedeutende italienische, sich in ähnlichen Gedankengängen bewegendende Mathematiker, sie nennt, mit „Linienfunktionen“; die meisten Theorien der mathematischen Analysis sind nichts als Spezialuntersuchungen über solche Funktionen von unendlich vielen Veränderlichen.

Lassen sich nun alle diese Spezialuntersuchungen in einer einheitlichen Theorie der Funktionen unendlich vieler Variabler zusammenfassen? Im Falle der Integralgleichungen hat sich der Gedanke aufs beste bewährt; aber ist das allgemeine Ziel nicht allzuweit, allzuumfassend gesteckt, um auch nur einige Aussicht auf Erfolg zu bieten? Die Frage scheint nicht richtig gestellt. Zwar ist es wunderbar genug, daß in der allgemeinen Theorie der Funktionen unendlich vieler Veränderlicher, wie *Hilbert* in einer Arbeit gezeigt hat, sich überhaupt mathematische Sätze aussprechen und beweisen lassen, welche nicht trivial sind; aber für den Moment liegt hierin nicht das Schwergewicht der allgemeinen Auffassung; ausschlaggebend bleibt vor allem die ordnende und klärende Wirkung, welche von der Idee einer solchen allgemeinen Funktionentheorie auf die ganze Methodik und Ideenbildung analytischer Untersuchungen ausstrahlt; mit einem Kantischen Ausdruck möchte man sagen, daß vorläufig die Theorie der unendlich vielen Veränderlichen kein konstitutives, sondern ein regu-

latives Prinzip der Analysis bedeutet, ein Wegweiser zur Orientierung der Gedankenbildungen mehr als ein Forschungsmittel. Gerade in dieser Hinsicht hat die Hilbertsche Idee schon starke Wirkung ausgeübt und scheint dazu berufen, noch reiche Früchte zu zeugen.

Wenn es auch in dem Rahmen dieses Aufsatzes nicht möglich ist, im einzelnen ein Bild von der Tiefe und Kraft des Analytikers *Hilbert* zu geben, dessen wahrhaft radioaktives wissen-

schaftliches Temperament mittelbar oder unmittelbar die meisten Mathematiker der letzten Generationen angeregt hat, so hoffe ich doch, einen Eindruck vermittelt zu haben, von dem aufs Ganze, auf die Einheit der Wissenschaft gerichteten Eros, welcher der wissenschaftlichen Persönlichkeit den Stempel aufdrückt und dem Träger in einer Epoche der Einzelleistung, Zersplitterung und Zerfaserung in der Wissenschaft einen ganz besonderen Platz anweist.

## Hilbert und die Physik.

Von M. Born, Göttingen.

Im Jahre 1905 fanden in Göttingen Übungen des mathematisch-physikalischen Seminars über Elektronentheorie statt, die *Minkowski* und *Hilbert* gemeinsam leiteten. Die Anregung zu diesem Unternehmen, das die beiden befreundeten Mathematiker von ihrem eigentlichen Arbeitsgebiet abzog und sie zu tiefem Eindringen in die Nachbarwissenschaft veranlaßte, mag damals von *Minkowski* ausgegangen sein, der von den Geheimnissen und Rätseln der Lorentzschen Elektrodynamik gelockt wurde und darin zugleich ein lohnendes Feld der Betätigung für seine geometrischen und algebraischen Kräfte erschaute. Der Schreiber dieser Zeilen, dem es vergönnt war, an diesem Seminar als Student teilzunehmen, erinnert sich an anregende und aufregende Stunden, die mit Diskussionen über die Fitz-Geraldsche Kontraktion, die Lorentzsche Ortszeit und andere, damals noch ganz phantastisch erscheinende Ansätze der Elektrodynamik erfüllt waren, und an denen sich auch *Hilbert* häufig klärend und auf Klarheit dringend beteiligte. Diese Übungsstunden sind bemerkenswert geworden, weil hier die beiden Mathematiker die Anregungen schöpften, die sie später, jeden zu seiner Zeit, zum Eingreifen in die Entwicklung der Relativitätstheorie führten.

*Minkowskis* Leistungen auf diesem Gebiete sind bekannt genug. Zu jener Zeit, als *Einsteins* erste, berühmte Arbeit erschien, die die Relativierung der Zeit enthielt, hatte *Minkowski* die mathematische Struktur der Feldgleichungen des Äthers und ihre Darstellung in der vierdimensionalen Raum-Zeit-Welt schon entdeckt und die Bedeutung der Invarianz der Naturgesetze gegenüber der Lorentzschen Transformationsgruppe erkannt. Aber er trat erst 1908 mit seinen Gedanken an die Öffentlichkeit, als es ihm gelungen war, die Feldgleichungen für bewegte, ponderable Körper aus dem Relativitätsprinzip abzuleiten.

*Hilbert* verfolgte damals die Untersuchungen des Freundes mit einer Anteilnahme, die sich oft zur Begeisterung steigerte; denn in ihm wohnte jener Glaube an die Einfachheit und Begreifbarkeit der Natur, der zum Wesen des

Naturforschers gehört, aber beim Mathematiker durchaus nicht immer zu finden ist, und er sah in *Einsteins* und *Minkowskis* Resultaten Erfüllung dieses Glaubens. Aber er selbst trat zunächst nicht mit eigenen Arbeiten physikalischer Richtung hervor, auch dann nicht, als *Minkowski* 1909 plötzlich starb und eine Fülle von Problemen ungelöst zurückließ. Es war die Periode, in der *Hilbert* seine Theorie der Integralgleichungen und der quadratischen Formen von unendlich vielen Variablen zum Abschluß brachte. Wenn er auch durch diese Untersuchungen ganz erfüllt wurde und nicht zu produktiver Tätigkeit auf dem von *Minkowski* gewiesenen Wege kam, hat er doch seit jener Zeit nie mehr aufgehört, sich für physikalische Probleme zu interessieren. Auch die *Lehre von den Integralgleichungen* war ja mit den Methoden der klassischen theoretischen Physik aufs engste verknüpft, vor allem mit den Randwertaufgaben, die in der Theorie des Potentials und vieler Differentialgleichungen der Physik auftreten. Die theoretischen Physiker hatten hier zwei wesentlich verschiedene Lösungsmethoden entwickelt, die *Methode der Reihen* nach dem Vorbilde der *Fourierschen* Reihe und die *Methode der Greenschen Funktion*. Man kann diese Verfahren etwa an dem Beispiel der Wärmeleitung in einem dünnen Stabe so kennzeichnen: Entweder faßt man die Temperaturverteilung als Superposition von einfach harmonischen (sinusförmigen) Temperaturwellen auf (Reihenentwicklung nach *Fourier*), oder man denkt sich an jeder Stelle des Stabes eine unendlich kleine Wärmequelle und bestimmt diese so, daß ihr Zusammenwirken die tatsächliche Temperaturverteilung erzeugt (Integralgleichung mit der *Greenschen Funktion* als Kern). *Hilbert* stellte nun ganz allgemein die Beziehung dieser Ansätze zu den linearen Integralgleichungen zweiter Art her, und es gelang ihm auf diesem Wege, nicht nur alle die mannigfaltigen Theorien der physikalischen Differentialgleichungen unter einen umfassenden Gesichtspunkt zusammenzufassen, sondern auch viele Lücken auszufüllen, die der Mathematiker in diesen Gebieten schmerzlich emp-



findet, Sätze über Existenz von Lösungen und Konvergenz von Reihen, über deren Schwierigkeit der Physiker sich leichtens Sinns, auf Beute lustern, kühn hinwegsetzt. Heute erscheinen z. B. sämtliche Schwingungsprobleme der Mechanik und Physik als Übertragungen der Theorie von den Hauptachsen eines Ellipsoids auf den Fall des „Raumes von unendlich vielen Dimensionen“, d. h. der Mannigfaltigkeit aller Funktionen, die sich in Reihen mit abzählbar vielen Koeffizienten (wie Potenzreihen, Fourierreihen usw.) entwickeln lassen.

Wurde so eine große Übersicht, Strenge und Klarheit gewonnen, so hatte der rechnende Physiker doch durch Benutzung der Integralgleichungen nur selten Vorteil; meist erwiesen sich für praktische Rechnung die alten Differentialgleichungsmethoden als bequemer, und in neuerer Zeit ist es auch *Courant* gelungen, die allgemeinen Existenz- und Konvergenzsätze mit den Methoden der Variationsrechnung und der Differentialgleichungen in sehr durchsichtiger Weise direkt zu begründen. Geht man auf den physikalischen Ursprung der mathematischen Gleichungen zurück, so findet man als *primären* Ausdruck der Erfahrungstatsachen und Hypothesen manchmal die Integralgleichung, manchmal die Differentialgleichung; in der Lehre vom elektrischen Gleichgewicht z. B. führt die Annahme von Kräften, die nach dem Coulombschen Gesetze in die Ferne wirken, direkt zu einer Integralgleichung für die Dichte der Ladungsverteilung, dagegen liefern jene Theorien, bei denen die Wirkung sich von Stelle zu Stelle fortpflanzt und die seit *Faraday* und *Maxwell* die Lehre vom elektromagnetischen Felde beherrschen, primär eine partielle Differentialgleichung (Poissonsche Gleichung). Mathematisch sind beide Ansätze äquivalent, sofern die Differentialgleichung mit den richtigen Anfangs- und Grenzbedingungen versehen wird. Aber es gibt auch Gebiete der Physik, wo keine Wahl ist, sondern wo die geltenden physikalischen Begriffe eindeutig auf eine Integralgleichung als Ausdruck der Tatsachen führen. *Hilbert* fand ein solches Gebiet zuerst in der *kinetischen Gastheorie*, und er hat die Sammlung seiner Abhandlungen über Integralgleichungen (B. G. Teubner, 1912) mit der Darstellung dieser Theorie abgeschlossen, offensichtlich hoch erfreut über die Macht des von ihm geschaffenen analytischen Hilfsmittels, die sich hier bei der Aufklärung eines in seiner logischen Struktur bis dahin recht dunklen Teils der Molekularphysik bewährte.

*Maxwell* und *Boltzmann* haben die Hypothesen der kinetischen Gastheorie folgendermaßen in eine einzige Gleichung zusammengefaßt: Es seien  $x, y, z$  die Koordinaten und  $\xi, \eta, \zeta$  die Geschwindigkeitskomponenten einer Molekel; die Anzahl der Molekeln, die in einem Volumenelement  $dx dy dz$  und einem Geschwindigkeitsbereich

$d\xi d\eta d\zeta$  liegen, sei  $F dx dy dz d\xi d\eta d\zeta$ , wo die „Verteilungsfunktion“  $F$  außer von  $x, y, z, \xi, \eta, \zeta$  noch von der Zeit  $t$  abhängen wird. Ist  $F$  bekannt, so kann man alle beobachtbaren Größen durch Mittelwertbildung berechnen, z. B. die sichtbare, mittlere Geschwindigkeit als

$$\frac{\int F \sqrt{\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2} d\xi d\eta d\zeta}{\int F d\xi d\eta d\zeta}$$

Zur Bestimmung von  $F$  muß man bedenken, daß die totale zeitliche Änderung von  $F$  unter der Wirkung einer beschleunigenden Kraft mit den Komponenten  $X, Y, Z$ :

$$D(F) = \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} \xi + \frac{\partial F}{\partial y} \eta + \frac{\partial F}{\partial z} \zeta + \frac{\partial F}{\partial \xi} \frac{X}{m} + \frac{\partial F}{\partial \eta} \frac{Y}{m} + \frac{\partial F}{\partial \zeta} \frac{Z}{m}$$

durch die Zusammenstöße erzeugt wird, die einige Molekeln aus einem betrachteten Gebiete herauswerfen, während dafür andere hineingelangen. Unter der Annahme vollkommen ungeordneter Molekularbewegung ist die resultierende Änderung von  $F$  ein Integral  $J(F)$ , dessen Integrand quadratisch von  $F$  abhängt; daher ergibt sich eine Integro-Differentialgleichung:

$$D(F) = J(F)$$

die die exakte Grundlage aller gaskinetischen Folgerungen bildet.

Solche Folgerungen sind von *Maxwell*, *Boltzmann* und anderen gezogen worden, und es hat sich gezeigt, daß man die Gesetze der makroskopischen Bewegung und der thermischen Vorgänge in Gasen qualitativ richtig erhält. Aber die Kette der mathematischen Schlüsse war nicht eindeutig und willkürfrei; man mußte an manchen Stellen zu Mittelwertbildungen die Zuflucht nehmen, weil die strenge Rechnung nicht durchführbar erschien, und hierdurch kam eine Unsicherheit in die Berechnung der gastheoretischen Konstanten (wie Wärmeleitungs- und Reibungskoeffizient), deren eindeutige Festlegung gerade das Hauptziel der Theorie ist. Hier griff nun *Hilbert* ein. Er bemerkte, daß das von den Physikern bei der Lösung der Grundgleichung eingeschlagene Näherungsverfahren aufgefaßt werden kann als Reihenentwicklung nach Potenzen eines Parameters, der der mittleren freien Weglänge der alten Theorie entspricht; dabei gibt die erste Näherung in bekannter Weise die Gesetze des ruhenden Gases, also vor allem für  $F$  das *Maxwellsche Verteilungsgesetz*, die höheren Näherungen aber werden lineare Integralgleichungen zweiter Art mit symmetrischem Kern. Auf diese läßt sich nun die allgemeine Theorie der Integralgleichungen anwenden und liefert zwangsläufig und ohne Willkür nicht nur die mechanischen und thermischen Gesetze der Gase, sondern auch eindeutige Rechenvorschriften, aus denen sich die Konstanten numerisch berechnen lassen, sobald die Gesetze der beim Zusammen-

stoß in Wirksamkeit tretenden anziehenden und abstoßenden Kräfte bekannt sind. Umgekehrt ist damit zum erstenmal ein eindeutiger Schluß von den beobachteten Gaskonstanten auf die Molekularkräfte möglich, und solche Rechnungen sind inzwischen von *Chapman* und *Enskog* (mit gewissen Modifikationen des Hilbertschen Verfahrens) durchgeführt worden. Das hierdurch geschaffene Material wiederum konnte *Debye* verwenden, als er seine elektrische Theorie der Molekularkräfte an der Erfahrung prüfen wollte. So haben die von *Hilbert* erdachten mathematischen Methoden mittelbar die moderne Atomforschung befruchtet.

Das von *Hilbert* zur Lösung der gaskinetischen Grundgleichung entwickelte Verfahren ist übrigens von allgemeinerer Bedeutung und hat sich auch in anderen Disziplinen als fruchtbar erwiesen. Man kann es kurz etwa so beschreiben: Bei den sukzessiven Näherungen ist die erste Gleichung homogen, die folgenden sind inhomogen mit derselben linken Seite, z. B. in der Gastheorie:

$$J(F_0) = 0, \quad J(F_1) = D(F_0) \dots$$

Wenn nun die erste Gleichung auflösbar ist, so kann es die zweite nicht immer sein, sondern nur dann, wenn die rechte Seite gewissen Bedingungen genügt. Diese Auflösbarkeitsbedingungen, denen die in  $F_0$  vorkommenden Parameter (Dichte, Temperatur, Komponenten der mittleren Geschwindigkeit) genügen müssen, stellen nun gerade die makroskopischen Gesetze der Bewegung und des Wärmestromes dar.

Dieser Gedanke liefert das allgemeine Verfahren, um zwangsläufig, ohne willkürliche Mittelwertbildung aus den verwickelten Gesetzen für die ungezählten Variablen der molekularen Welt die einfachen Gleichungen für die wenigen meßbaren Größen zu gewinnen. Die beschriebene Methode wurde von einigen Schülern *Hilberts* auf Probleme der Ionenbewegung in Elektrolyten und der Elektronenbewegung in Metallen erfolgreich angewandt; besonders bewährt hat sie sich in der kinetischen Theorie der festen Körper, und der Verfasser dieses Aufsatzes wußte das Verdienst *Hilberts* um diesen Fortschritt nicht besser auszudrücken, als daß er sein Buch über Dynamik der Kristallgitter dem verehrten Lehrer widmete.

*Hilbert* entdeckte noch einen zweiten Fall, wo der physikalische Ansatz direkt auf eine Integralgleichung führt, die *elementare Strahlungstheorie*. Hierunter sind jene einfachen, zuerst von *Kirchhoff* aufgestellten Gesetze zu verstehen, die das geometrische und energetische Verhalten der Strahlung im thermodynamischen Gleichgewicht regeln, und deren bekanntestes gewöhnlich so formuliert wird: Das Verhältnis von Emissionsvermögen und Absorptionsvermögen ist im Falle reiner Temperaturstrahlung eine universelle Funktion der Temperatur und der

Wellenlänge, also unabhängig von der Natur und dem sonstigen Zustande der Körper. *Planck* hatte an die Stelle der Kirchhoffschen Integralbegriffe „Emissions- und Absorptionsvermögen“ die auf das Volumenelement bezogenen Größen „Emissionskoeffizient“  $\varepsilon$  und „Absorptionskoeffizient“  $\alpha$  eingeführt und gezeigt, daß dann die Kirchhoffschen Sätze sich in die eine Formel fassen lassen: Die aus  $\varepsilon$ ,  $\alpha$  und der Lichtgeschwindigkeit  $q$  gebildete Größe  $\frac{q^3 \varepsilon}{\alpha}$  hängt

nicht ab von der Natur der Substanz, sondern ist eine universelle Funktion der Temperatur und der Schwingungszahl. *Hilberts* erste Arbeit geht darauf aus, diesen Satz ohne die von den Physikern gemachten, vereinfachenden Annahmen (homogene, einfach begrenzte Körper usw.) zu begründen, er läßt die drei Parameter  $\varepsilon$ ,  $\alpha$ ,  $q$  als beliebige Funktionen des Ortes zu und zeigt dann, daß die Forderung des Energiegleichgewichts für jede einzelne Farbe zu einer homogenen Integralgleichung zweiter Art für  $\varepsilon$  führt, deren einzige Lösung  $\varepsilon = \frac{\alpha}{q^3}$  konst. ist.

Um diese, mathematisch höchst elegante Arbeit entstand nun eine wenig erfreuliche Polemik zwischen *Hilbert* und dem Physiker *B. Pringsheim*. Dieser warf *Hilbert* vor, daß er unter Betonung der Unzulänglichkeit aller früheren Beweise des Kirchhoffschen Satzes gerade die Tatsache als Voraussetzung seines Beweises gebraucht habe, die von *Kirchhoff* und allen übrigen Physikern als der tieferen Begründung besonders bedürftig angesehen wird und deren Ableitung der Hauptteil der Kirchhoffschen Arbeit ist: nämlich die Tatsache, daß die Strahlung jeder Wellenlänge für sich im Gleichgewicht ist und kein Energieaustausch zwischen verschiedenen Spektralbezirken stattfindet. Dieser Vorwurf ist durchaus berechtigt, und *Hilbert* hat, sobald er auf diesen Mangel aufmerksam wurde, seine Überlegungen in der geforderten Richtung ausgestaltet; dabei hat er die axiomatische Darstellung angewandt, wohl in der Überzeugung, daß nur auf diesem Wege Klarheit in das Knäuel physikalischer Voraussetzungen und mathematischer Schlüsse zu bringen sei. Gegen diese Wendung erhob nun *Pringsheim* energisch Einspruch, und es ist äußerst interessant, an diesem Falle die Verschiedenheit physikalischen und mathematischen Denkens zu verfolgen. Der Physiker geht darauf aus, zu erforschen, wie die Dinge in der Natur sind; Experiment und Theorie sind ihm dabei nur Mittel zum Zweck, und im Bewußtsein der unendlichen Kompliziertheit des Geschehens, die ihm bei jedem Experiment entgegentritt, wehrt er sich dagegen, irgendeine Theorie als endgültig anzusehen. Darum verabscheut er das Wort „Axiom“, dem im gewöhnlichen Sprachgebrauch der Sinn der endgültigen Wahrheit anhaftet, in dem gesunden Empfinden, daß Dogmatismus der schlimmste Feind der Naturwissenschaft sei. Der



Mathematiker aber hat nicht mit Tatsachen des Geschehens, sondern mit logischen Zusammenhängen zu tun, und in *Hilberts* Sprache bedeutet axiomatische Behandlung einer Disziplin keineswegs die endgültige Aufstellung bestimmter Axiome als ewiger Wahrheiten, sondern die methodische Forderung: Nenne deine Voraussetzungen am Anfang deiner Überlegung, halte dich daran und untersuche, ob diese Voraussetzungen nicht zum Teil überflüssig sind oder gar einander widersprechen. Diese logische Konsequenz ist zweifellos das Ideal jedes Erkenntnisgebietes, aber je weiter man sich von der reinen Mathematik entfernt, um so weniger erfüllt (oder erfüllbar) ist auch dieses Ideal, und selbst in der exakten Physik findet sich nur allzu häufig mitten in der Entwicklung ein Satz wie: „wenn wir nun die Annahme machen, daß usw.“. *Pringsheims* Polemik, in der Betonung des physikalischen Wichtigen durchaus berechtigt, schoß nun sowohl in der Form als auch in der Beurteilung von *Hilberts* Absichten über das Ziel hinaus. Er verkannte nicht nur den Sinn der axiomatischen Darstellungsweise, den wir soeben erläutert haben, sondern er warf auch *Hilbert* einen Fehler vor. Dieser hatte nämlich zum Beweise der Unmöglichkeit, aus der Annahme des Gleichgewichts der Gesamtenergie aller Wellenlängen die Kirchhoff-Plancksche Formel abzuleiten, die Größen  $q$  und  $\alpha$  unabhängig von  $\lambda$  beide gleich 1 gesetzt; *Pringsheim* hält dies für unzulässig, weil es in der Natur keine Körper gibt, die Absorption ( $\alpha = 1$ ), aber keine Dispersion ( $q = 1$ , d. h. gleich der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum) haben. Mit demselben Rechte könnte man sagen: Der Lobatschewskysche Beweis der Unmöglichkeit, das Parallelenaxiom aus den übrigen Axiomen *Euklids* herzuleiten, ist falsch, denn die dabei verwendete nicht-euklidische Geometrie existiert in der Wirklichkeit nicht. *Hilbert* konnte diesen Vorwurf *Pringsheims* mit Recht als Mißverständnis zurückweisen.

*Pringsheim* hat noch andere Einwände von geringerem Gewichte gegen *Hilberts* Arbeit vorgebracht, z. B. daß er die Zerstreuung und Reflexion nicht berücksichtigt habe. In einer zusammenfassenden Bearbeitung (Göttinger Nachrichten 1914) hat dann *Hilbert* gezeigt, daß seine Beweisführung auch bei Berücksichtigung aller dieser Vorgänge gültig bleibt; diese letzte Abhandlung *Hilberts* über das Gebiet der elementaren Strahlungslehre wird immer als die strengste und durchsichtigste Darstellung dieser Theorie zu gelten haben.

Gleichwohl fand sie bei den Physikern wenig Beachtung; das lag hauptsächlich daran, daß die tieferen Probleme der Strahlungstheorie, vor allem das Gesetz der spektralen Energieverteilung des schwarzen Körpers, an Wichtigkeit weit voranstanden. Denn hier ergaben sich Zusammenhänge mit den letzten Prinzipien der Physik, die heute gerade durch die Erforschung der Strah-

lungsgesetze in einer Wandlung begriffen sind. Auch *Hilbert* hat niemals die Bedeutung der Kirchhoffschen Strahlungsgeometrie überschätzt, sondern seit seinem ersten Eindringen in die Gedanken der modernen Physik den Schwerpunkt der Fragestellung in den Problemen der Statistik und der Quanten gesehen. Mehrere Jahre hat er viel Zeit und Arbeit darauf gewandt, diese Gebiete mit der Schärfe seiner Logik zu durchdringen und zu erhellen; aber er hat seine Resultate niemals publiziert, sondern nur seinen Schülern in Vorlesungen bekanntgemacht; er begann mit einem Kolleg über seinen Aufbau der kinetischen Gastheorie und schloß daran eine Reihe von Vorlesungen über Molekulartheorie, statistische Mechanik, Nernstsches Wärmetheorem, Quantentheorie u. ä. Die wunderbare Anwendung, die die klassische Hamilton-Jacobische Mechanik in der Quantentheorie findet, bot dabei einen Anknüpfungspunkt an berühmte ältere Vorlesungen *Hilberts* über Variationsrechnung und höhere Mechanik. Zugleich begann *Hilbert* die von ihm geleiteten Übungen des mathematischen Seminars, anknüpfend an die Tradition der letzten Minkowskischen Zeit, hauptsächlich den Problemen der theoretischen Physik zu widmen, und bis heute werden diese Seminarstunden über das Thema „Struktur der Materie“ fortgesetzt. *Minkowskis* Rolle übernahm der Physiker *P. Debye*, der, gleich bedeutend als Experimentator und Theoretiker, in diese Übungsstunden den lebendigen Pulsschlag der physikalischen Forschung hereinzutragen wußte.

Natürlich spielte bei den Diskussionen des Seminars die *Relativitätstheorie* immer eine große Rolle, und man verfolgte mit großem Anteil die Arbeiten, mit denen *Einstein* ganz allmählich zu seiner allgemeinen Gravitationstheorie vordrang. Aber auch die Abhandlungen von *Abraham*, *Nordstroem* und *Mie*, die zum selben Ziele strebten, wurden studiert, und *Hilbert* wurde besonders von den Ideen *Mies* gefesselt, der eine „Theorie der Materie“ auf der Grundlage des Relativitätsprinzips aufzubauen versuchte. *Mie* gelang es, die Maxwell'schen Gleichungen des elektromagnetischen Feldes in rationeller Weise so zu verallgemeinern, daß sie ihren linearen Charakter verloren, und er verfolgte das Ziel, die Existenz der materiellen Urteilchen, besonders des Elektrons, aus den Feldgleichungen abzuleiten. Man versteht, daß dieses Problem für einen Mathematiker wie *Hilbert* besonders anziehend war, denn die Grundlagen der Mieschen Theorie ließen sich nicht nur in sehr durchsichtiger Weise mathematisch formulieren, sondern erforderten auch bei der Durchführung des Programms einen beträchtlichen Aufwand nicht trivialer analytischer Hilfsmittel. Aber *Hilbert* sah weiter als der Begründer dieser Theorie, indem er die Brücke zu *Einsteins* Gedanken über die allgemeine Relativität und Gravitation entdeckte.

Damals, im Jahre 1914, hatte *Einstein* erkannt, daß sein Äquivalenzprinzip von Trägheit und Schwere bei konsequenter Durchführung notwendig dazu führen mußte, die Vorstellung eines a priori gegebenen, euklidischen Raumes und einer absoluten Zeit fallen zu lassen, vielmehr die Raum-Zeit-Welt als beliebige 4-dimensionale Mannigfaltigkeit im Riemannschen Sinne aufzufassen, wobei die Maßbestimmung durch eine quadratische Form der Koordinatendifferentiale gegeben ist. Die 10 Koeffizienten dieser Differentialform mußten die Gravitation bestimmen, und es kam darauf an, die für sie gültigen Gesetze aufzufinden unter Ausnutzung der Andeutungen, die durch die Forderung der Invarianz und durch den Anschluß an die Newtonsche Gravitationstheorie gegeben waren. Während *Einstein* zunächst vergeblich, sodann auf großen Umwegen sich diesen Gesetzen zu nähern suchte, kam *Hilbert* gänzlich unabhängig auf einem anderen Wege zur Lösung dieses Problems, und der Zufall wollte, daß beide Forscher fast genau gleichzeitig am Ziele anlangten. *Einstein* legte seine beiden grundlegenden Abhandlungen „Zur allgemeinen Relativitätstheorie“ am 11. und 25. November 1915 der Berliner Akademie vor, *Hilbert* seine erste Note über die „Grundlagen der Physik“ am 20. November der Göttinger Gesellschaft der Wissenschaften. Dieses merkwürdige Zusammenreffen hat aber keineswegs zu irgendwelchen Prioritätsstreitigkeiten zwischen den beiden Männern Anlaß gegeben; vielmehr führte der Briefwechsel, der aus dem Austausch der wissenschaftlichen Ansichten entstand, zu persönlichem Zusammentreffen und freundschaftlichem Verkehr. *Hilbert* blieb sich stets bewußt und hat dem in zahlreichen Vorträgen und in seinen Abhandlungen Ausdruck gegeben, daß die Hauptsache durchaus die großartige physikalische Idee *Einsteins* sei; wie für *Vischers* „Auch Einer“ sich „das Moralische immer von selbst versteht“, so für einen *Hilbert* „das Mathematische“, selbst da, wo es wie in der Relativitätstheorie die höchsten geometrischen Abstraktionen betrifft. Es war übrigens keineswegs sofort offenbar, daß die Ansätze *Einsteins* und *Hilberts* gleichwertig, ja nicht einmal, daß sie miteinander verträglich seien. *Einstein* baute seine Gravitationsgesetze induktiv auf; dabei machte er keinerlei Annahmen über das Wesen der das Gravitationsfeld erzeugenden Materie, sondern charakterisierte diese durch ihren Energie-Impuls-Spannungs-Tensor. Seine Gravitationsformeln besagen, daß dieser Tensor der Materie überall proportional dem „verjüngten Krümmungstensor“ ist, einer kovarianten Größe, die aus den Koeffizienten der fundamentalen Differentialform und ihren ersten und zweiten Ableitungen gebildet ist. *Hilbert* knüpft an die Gedanken an, die *Mies* „Theorie der Materie“ zugrunde liegen; dabei wird die Materie durchaus als elektrisches Phänomen angesehen und durch ein „Viererpotential“ mathematisch charak-

terisiert, dessen 4 Komponenten zugleich mit den 10 Komponenten des Schwerefeldes den Zustand der Welt in jedem Punkte beschreiben. Zur Bestimmung dieser 14 unbekannten Funktionen dient, wieder nach dem Vorbilde von *Mie*, ein invariantes Variationsprinzip; während dieses aber bei *Mie* nur invariant ist gegen die Lorentz-Transformationen der speziellen Relativitätstheorie, ist es bei *Hilbert* allgemein invariant, und daraus folgt, daß zwischen den 14 Differentialgleichungen für die 14 gesuchten Funktionen 4 Identitäten bestehen. In diesen 4 identischen Relationen zwischen den Gesetzen des Gravitationsfeldes und denen des elektrischen Feldes (den Maxwellschen Gleichungen) sah *Hilbert* selbst den Höhepunkt seiner Leistung, nämlich die Auffindung des Bandes zwischen den beiden Feldarten, die bisher nebeneinander beziehungslos bestanden. Aus einigen Stellen dieser Note *Hilberts*, besonders aus dem enthusiastischen Schlusse, geht deutlich hervor, daß er von seinen Feldgleichungen noch Größeres erwartete, nämlich die Erreichung des Ziels, das *Mie* vorgeschwebt hatte: die Ableitung des Elektrons und der Atome aus den Feldgesetzen. Diese Hoffnungen haben sich zwar nicht erfüllt; das Geheimnis der Materie und ihrer quantenhaften Struktur läßt sich wohl auf diesem formalen Wege nicht ergründen. Aber auch so bleibt *Hilberts* erste Note ein historisches Dokument: sie bedeutet zusammen mit den beiden gleichzeitigen Arbeiten *Einsteins* die Geburt der allgemeinen Relativitätstheorie. Außer *Einstein* selbst haben das wohl wenige sogleich erkannt; denn *Hilberts* Abhandlung ist äußerst schwer geschrieben, für Physiker geradezu unzugänglich. *Klein* hat das Verdienst, die Hilbertschen Gedanken sofort erfaßt und in klarer und einfacher Weise dargestellt zu haben; er fand sowohl für *Hilberts* erste Note, als auch für *Einsteins* Abhandlungen und für die zweite Note *Hilberts* die adäquate Form, indem er ihren mathematischen Inhalt den allgemeinen Ideen unterordnete, die er vor Jahrzehnten (1872) in seinem berühmten Erlanger Programm ausgesprochen hatte. Der Grundgedanke dieser Schrift ist die Erkenntnis, daß das Lehrgebäude der Geometrie oder irgendein in sich abgeschlossener Teil desselben (wie Analysis situs, projektive Geometrie, Kugelgeometrie usw.) aufgefaßt werden kann als Invariantentheorie einer bestimmten Gruppe von Transformationen. Die Riemannsche allgemeine Raumlehre erscheint von diesem Standpunkt aus als die Invariantentheorie bezüglich aller stetigen Transformationen der 3 Raumkoordinaten, bei denen eine quadratische Differentialform in sich übergeht; und von hier aus zur Einsteinschen allgemeinen Relativitätstheorie ist nur ein Schritt, der in der Hinzufügung der Zeit als vierter Koordinate zu den 3 Raumabmessungen besteht. So waren die Mathematiker wohl präpariert zur schnellen Erfassung von *Einsteins* Lehre, und es ist verständlich, daß die führenden Mathematiker



*Hilbert* und *Klein* an der Entwicklung der Theorie lebhaften Anteil nahmen. Ja, die Ideen *Einstein*s erschienen ihnen so natürlich, daß sie den Widerstand gar nicht begreifen konnten, den die Relativitätstheorie nicht nur bei Laien, sondern auch innerhalb der Physik fand. Die Gegenargumente, die vorgebracht wurden, erhoben sich ja auch niemals über das niedrigste Niveau und mußten den an den Werken eines *Gauß*, *Riemann*, *Helmholtz* Geschulten nur lächerlich erscheinen.

Die schon oben erwähnte zweite Note *Hilbert*s enthält außer einigen mathematischen Folgerungen aus den Feldgleichungen vor allem eine ausführliche Diskussion der Stellung des Kausalgesetzes zur allgemeinen Relativität. Nach der gewöhnlichen Fassung verlangt dieses, daß durch den Zustand der Welt in Gegenwart und Vergangenheit vermöge der Naturgesetze der Zustand der Welt in der Zukunft eindeutig und notwendig bestimmt sei. In der allgemeinen Relativitätstheorie muß man nun genau definieren, was unter „Zustand der Welt“ eigentlich dabei zu verstehen sei; denn die Werte irgendwelcher physikalischen Parameter lassen sich durch Wechsel des Bezugssystems in andere Werte transformieren, können also nicht in jenem Satze als Bestimmungsstücke des physikalischen Zustandes gemeint sein. *Hilbert* gibt nun genau an, wie man den Zustand definieren muß, damit er einen „physikalischen Sinn“ habe, und zeigt, daß dann das Kausalitätsprinzip in vollem Umfange gültig bleibt. Auch

diese Frage hat dann *Klein* von seinem allgemeinen, gruppentheoretischen Standpunkte beleuchtet.

*Hilbert* hat seine Auffassung der Relativitätstheorie in mehreren Vorlesungen bekanntgemacht, wobei er zu immer größerer Eindringlichkeit und Klarheit der Darstellung gelangte. Im letzten Sommersemester hat er sogar ein populäres Kolleg vor einem riesigen Zuhörerkreis gehalten und dabei bewiesen, daß nur der, dem die logische Struktur eines schwierigen Gebietes vollständig durchsichtig ist, dieses vor einem Laienpublikum anschaulich, lebendig und gleichzeitig klar und streng vortragen kann.

Seit *Gauß* und *Weber* ist es eine Göttinger Tradition, daß Mathematik und Physik nicht nebeneinander, sondern miteinander fortschreiten. *Klein* hat diese Tradition besonders energisch gehütet und durch Einbeziehung der technischen Wissenschaften ausgebaut; sein Streben war, die hohe mathematische Forschung aus ihrer Isolierung zu befreien und sie durch Pflege der Anwendungen mit der Praxis, der Technik, zu verbinden, diese befruchtend und gleichzeitig von dieser befruchtet und sozial gestützt. *Hilbert* hat in nicht geringerem Maße im Sinne der Göttinger Überlieferung gewirkt, nur war sein Interesse weniger auf die Praxis, als auf die Prinzipien der Naturerkenntnis gerichtet; darum hat er seine mathematischen Kräfte in den Dienst der modernen Physik gestellt. Was diese ihm zu danken hat, davon sollen diese Zeilen berichten.

## Die Bedeutung Hilberts für die Philosophie der Mathematik.

Von Paul Bernays, Göttingen.

Wenn wir die geistigen Beziehungen der mathematischen Wissenschaften zur Philosophie betrachten, wie sie sich seit den Zeiten der Aufklärung entwickelt haben, so bemerken wir mit Befriedigung, daß gegenwärtig das mathematische Denken im Begriff ist, wieder jenen mächtigen Einfluß auf die philosophische Spekulation zu gewinnen, welchen sie bis zur Zeit *Kants* besaß, den sie dann aber auf einmal völlig einbüßte. Jene plötzliche Abwendung von dem mathematischen Denken geschah im Zeichen der allgemeinen Abkehr von dem Geiste der Aufklärungszeit, wie sie sich zu Anfang des 19. Jahrhunderts einstellte.

Jedoch war diese Ablösung der Philosophie von der exakten Wissenschaft nur eine einseitige. Während nämlich die herrschende Philosophie sich ganz der Mathematik entfremdete<sup>1)</sup>, ent-

wickelte sich bei den Mathematikern immer mehr eine philosophische Richtung.

Der wesentlichste Grund hierfür war, daß die Mathematik weit über den Rahmen hinaus wuchs, in dem sie sich zu den Zeiten *Kants* noch bewegte. Nicht nur, daß der Bereich der erforschten Tatsachen sich erheblich vergrößerte, sondern die ganze Anlage der Untersuchungen wurde großzügiger und die ganze Methode umfassender. Die Begriffsbildungen erhoben sich zu einer höheren Stufe der Allgemeinheit; die Bedeutung der Formel trat zurück gegenüber begrifflichen Abstraktionen und systematischen Leitgedanken. Ferner auch die Stellung zu den Grundlagen und dem Objekt der mathematischen Wissenschaften änderte sich.

Die Aufgabe der Geometrie wurde weiter gefaßt. Die geometrischen Begriffsbildungen wurden allgemeiner und machten sich immer mehr von der Bindung an die räumliche Vorstellung frei. Und in den neu entstandenen geometrischen Theorien hatte die Raumanschauung nicht mehr die Bedeutung der Erkenntnis-Grundlage, sondern

<sup>1)</sup> Unter den Philosophen, welche in dieser Hinsicht eine rühmliche Ausnahme machten, ist besonders *Bolzano* zu erwähnen, der als erster die strenge Begründung für die Theorie der reellen Zahlen gegeben hat.

sie wurde hier nur noch im Sinne einer anschaulichen Analogie angewendet.

Auch in der Arithmetik gelangte die Forschung zu einer wesentlichen Erweiterung ihrer Problemstellung. Einerseits wurden durch die Erfindung der Mengenlehre die Begriffe der Anzahl und der Ordnung in einer ganz neuen Weise verallgemeinert und auf unendliche Gesamtheiten übertragen. Andererseits führte die Entwicklung der Algebra dazu, daß man nicht mehr ausschließlich die Zahlen und Größen als Objekte der Untersuchung ansah, vielmehr den rechnerischen Formalismus selbst zum Gegenstande nahm und sich ganz allgemein die Betrachtung der Formalismen zur Aufgabe machte. Die Zahlen sowie die Größen erschienen jetzt nur noch als etwas Spezielles, und je mehr man ihre Gesetzmäßigkeit unter allgemeineren Gesichtspunkten betrachtete, um so mehr erhöhte man sich, diese Gesetzmäßigkeit als selbstverständlich hinzunehmen.

So ging denn die ganze Entwicklung der Mathematik dahin, alles das, was vordem als einziger Gegenstand der Forschung galt und wovon die Grundeigenschaften als etwas für die Mathematik hinzunehmendes und keiner mathematischen Untersuchung fähiges noch bedürftiges erachtet wurden, dieses seines Ansehens der Ausschließlichkeit und Endgültigkeit zu berauben. Der Rahmen, den die frühere philosophische Ansicht, und auch noch die Kantische Philosophie, für die Mathematik abgesteckt hatte, wurde gesprengt. Die Mathematik ließ sich nicht mehr die Methode und die Grenzen ihrer Forschung von der Philosophie vorschreiben, sondern nahm die Erörterung ihrer methodischen Probleme selbst in die Hand. So wurden die Axiome der mathematischen Theorien des näheren auf ihre logischen Beziehungen hin untersucht, sowie auch die Schlußweisen einer genaueren Kritik unterzogen. Und je weiter man diese Probleme verfolgt hat, um so mehr hat das mathematische Denken an ihnen seine Fruchtbarkeit gezeigt und sich als unentbehrliches Hilfsmittel für die theoretische Philosophie erwiesen.

Zu dieser Entwicklung nun, welche bis in die Gegenwart reicht, hat in bedeutsamer Weise *David Hilbert* beigetragen. Was er auf diesem Gebiete geleistet hat, soll im folgenden geschildert werden.

Als *Hilbert* sich den Problemen zuwandte, welche es betrifft der Grundlagen des mathematischen Denkens zu lösen galt, hatte er nicht nur das Rüstzeug seiner umfassenden Beherrschung der mathematischen Methoden zur Verfügung, sondern er war auch vor allem durch seine menschliche Veranlagung gleichsam vorbestimmt für diese Aufgaben. Denn für ihn hatte die Mathematik die Bedeutung einer Weltanschauung, und er ging an jene grundsätzlichen Probleme mit der Gesinnung eines Eroberers, der bestrebt ist, dem mathematischen Denken einen

möglichst umfassenden Machtbereich zu erkämpfen.

Bei der Verfolgung dieses Zieles kam es darauf an, den Fehler jener extremen rationalistischen Denker zu vermeiden, welche glaubten, daß durch reines Denken eine vollkommene Erkenntnis alles Wirklichen zu erlangen sei. Es konnte sich also nicht etwa darum handeln, alle Erkenntnis des Tatsächlichen in die Mathematik einzubeziehen, vielmehr war es zum Zwecke einer möglichst weiten Ausdehnung des Herrschaftsgebietes der Mathematik erforderlich, eine scharfe Grenz-scheidung zwischen Mathematischem und Nicht-mathematischem vorzunehmen, welche es erlaubte, alle mathematischen Bestandteile im Erkennen auch wirklich für die Mathematik in Anspruch zu nehmen.

In diesem Sinne hat auch tatsächlich *Hilbert* das Problem angefaßt. Sein erstes und größtes Werk auf dem Gebiet der Methodenfragen sind die im Jahre 1899 erschienenen „*Grundlagen der Geometrie*“. In dieser Schrift stellte *Hilbert* ein neues System von Axiomen für die Geometrie auf, welche er nach den Gesichtspunkten der Einfachheit und der logischen Vollständigkeit, unter möglichst enger Anknüpfung an die Begriffsbildungen *Euklids* wählte. Das Gesamtsystem der Axiome gliederte er in fünf Axiomgruppen und untersuchte nun genauer den Anteil, den die verschiedenen Axiomgruppen (sowie auch einzelne der Axiome) an dem logischen Aufbau der Geometrie haben.

Diese Untersuchung hat durch die Fülle an neuen, fruchtbaren Methoden und Gesichtspunkten, welche sie darbot, einen mächtigen Einfluß auf die Entwicklung der mathematischen Forschung ausgeübt. Jedoch liegt die Bedeutung von *Hilberts* Grundlagen der Geometrie keineswegs nur in dem rein mathematischen Gehalte. Was vielmehr diesem Werk seine Popularität verlieh und den Namen *Hilberts* weit über den Kreis seiner Fachgenossen hinaus berühmt machte, das war die neue methodische Wendung, welche hier dem Gedanken der Axiomatik gegeben wurde.

Das Wesen der axiomatischen Methode, d. h. der Methode, eine Wissenschaft aus Axiomen und Definitionen logisch zu entwickeln, besteht ja nach der geläufigen Auffassung darin, daß man von einigen wenigen Grundsätzen ausgeht, von deren Wahrheit man überzeugt ist diese als Axiome an die Spitze stellt und aus ihnen mit Hilfe des logischen Schließens Lehrsätze ableitet, deren Wahrheit dann ebenso sicher ist, wie die der Axiome, eben weil sie aus diesen logisch folgen. Bei dieser Ansicht wird das Augenmerk vor allem auf den Erkenntnischarakter der Axiome gerichtet. Ja, ursprünglich ließ man als Axiome überhaupt nur solche Sätze gelten, deren Wahrheit a priori einleuchtete. Und noch *Kant* war der Ansicht, daß der Erfolg und die Fruchtbarkeit der axiomatischen Methode in der Geometrie und in der Mechanik wesentlich darauf beruhe,



daß man in diesen Wissenschaften von Erkenntnissen a priori (den Axiomen der reinen Anschauung und den Grundsätzen des reinen Verstandes) ausgehen könne.

Allerdings hat man diese Forderung, daß ein jedes Axiom eine a priori erkennbare Wahrheit ausdrücken müsse, bald preisgegeben. Denn bei den mannigfachen Anlässen, welche sich besonders in der Weiterentwicklung der Physik zur Anwendung der axiomatischen Methode boten, ergab es sich sozusagen von selbst, daß man teils Erfahrungssätze, teils auch bloße Hypothesen als Axiome physikalischer Theorien wählte. Dabei erwies sich das axiomatische Verfahren besonders in den Fällen als fruchtbar, wo es gelang, durch die Aufstellung eines Axioms die Ergebnisse vielfältiger Erfahrungen in einer Aussage von allgemeinem Charakter zusammenzufassen. Ein berühmtes Beispiel hierfür bilden die beiden Sätze von der Unmöglichkeit eines perpetuum mobile erster und zweiter Art, welche *Clausius* in der Theorie der Wärme als Axiome an die Spitze stellte.

Dazu kam noch, daß der Glaube an die apriorische Erkenntnis der geometrischen Axiome bei den Forschern der exakten Wissenschaften — hauptsächlich infolge der nicht-euklidischen Geometrie und unter dem Eindruck der Argumente von *Helmholtz* — immer mehr verloren ging und so die empiristische Ansicht, nach welcher die Geometrie nichts anderes ist als eine Erfahrungswissenschaft, immer mehr Anhänger fand. Jedoch änderte dieses Abgehen vom Apriorismus nicht wesentlich den Gesichtspunkt, unter dem man die axiomatische Methode betrachtete.

Eine stärkere Wandlung wurde aber durch die systematische Entfaltung der Geometrie bewirkt. Die mathematische Abstraktion hatte sich, von der elementaren Geometrie ausgehend, weit über den Bereich der räumlichen Anschauung erhoben und zur Bildung von umfassenden Lehrgebäuden geführt, in welche die gewöhnliche Euklidische Geometrie sich einordnen ließ und innerhalb deren ihre Gesetzmäßigkeit nur als eine ganz spezielle neben anderen mathematisch gleichberechtigten erschien. Hiermit eröffnete sich eine neue Art von mathematischer Spekulation, mit Hilfe deren man die geometrischen Axiome von einem höheren Standpunkt betrachten konnte. Es zeigte sich aber sogleich, daß diese Betrachtungsweise mit der Frage nach dem Erkenntnischarakter der Axiome — welche man doch vordem für das einzig Bedeutsame an der axiomatischen Methode hielt — gar nichts zu schaffen hatte. Und somit ergab sich die Notwendigkeit einer reinlichen Scheidung zwischen den mathematischen und den erkenntnistheoretischen Problemen der Axiomatik. Die Forderung einer solchen Sonderung der Probleme hat *Klein* in seinem Erlanger Programm<sup>2)</sup> bereits in aller

Klarheit ausgesprochen.

Nun war es das wesentliche an *Hilberts* Grundlegung der Geometrie, daß hier zum erstenmal in der Aufstellung des Axiomensystems von vornherein die Sonderung des Mathematischen und Logischen von dem Räumlich-Anschaulichen — und damit von der erkenntnistheoretischen Grundlage der Geometrie — restlos durchgeführt und mit voller Schärfe zum Ausdruck gebracht wurde.

Wohl spricht *Hilbert* in der Einleitung seines Buches den Gedanken aus, daß die Aufstellung der Axiome für die Geometrie und die Erforschung ihres Zusammenhanges eine Aufgabe sei, die „auf die logische Analyse unserer räumlichen Anschauung“ hinausläuft, und ebenso bemerkt er im ersten Paragraphen, daß jede einzelne der Axiomgruppen „gewisse zusammengehörige Grundtatsachen unserer Anschauung“ ausdrückt. Aber diese Äußerungen stehen ganz außerhalb des axiomatischen Aufbaues; dieser selbst vollzieht sich ohne jegliche Bezugnahme auf die räumliche Anschauung.

Nun ist es freilich schon von jeher eine Anforderung an eine strenge axiomatische Begründung der Geometrie gewesen, daß die Beweise sich ausschließlich an dasjenige halten sollen, was in den Axiomen formuliert wird, dagegen nicht auf sonstige Art die räumliche Anschauung heranziehen dürfen. Und in neuerer Zeit hat besonders *Pasch* bei seiner Grundlegung der Geometrie<sup>3)</sup> auf die Durchführung dieser Forderung Gewicht gelegt und ihr auch vollkommen entsprochen.

Die Hilbertsche Axiomatik geht aber in der Ausschaltung der räumlichen Anschauung noch einen Schritt weiter. Hier wird die Heranziehung der räumlichen Vorstellung nicht nur bei den Beweisen, sondern auch in den Axiomen und den Begriffsbildungen gänzlich vermieden. Die Worte „Punkt“, „Gerade“, „Ebene“ dienen nur als Namen für drei verschiedene Arten von Gegenständen, über welche unmittelbar nichts anderes vorausgesetzt wird, als daß die Gegenstände einer jeden Art ein fest bestimmtes System bilden. Alle weitere Charakterisierung erfolgt erst durch die Axiome. Desgleichen werden mit Ausdrücken wie „der Punkt *A* liegt auf der Geraden *a*“ oder „der Punkt *A* liegt zwischen *B* und *C*“ nicht die gewöhnlichen, anschaulichen Bedeutungen verbunden, vielmehr bezeichnen sie nur gewisse, zunächst unbestimmte Beziehungen, die dann erst durch die Axiome, in denen diese Ausdrücke vorkommen, *implicit* charakterisiert werden.<sup>4)</sup>

Zufolge dieser Auffassung sind die Axiome überhaupt keine Urteile, von denen man sagen kann, daß sie wahr oder falsch sind; nur in dem

metrische Forschungen“, 1872. (Mathematische Annalen, Bd. 43.)

<sup>3)</sup> „Vorlesungen über neuere Geometrie“, 1882.

<sup>4)</sup> Man spricht in diesem Sinne von „*impliziter* Definition“.

<sup>2)</sup> „Vergleichende Betrachtungen über neue geo-

Zusammenhänge des ganzen Axiomensystems haben sie überhaupt einen Sinn. Und auch das Axiomensystem als Ganzes bildet nicht den Ausdruck einer Wahrheit, vielmehr ist die logische Struktur der axiomatischen Geometrie im Sinne *Hilberts* — ganz entsprechend derjenigen der abstrakten Gruppentheorie — eine rein hypothetische: Wenn irgendwo in Wirklichkeit drei Systeme von Gegenständen vorliegen sowie bestimmte Beziehungen zwischen diesen Gegenständen, derart, daß für diese die Axiome der Geometrie zutreffen (d. h. daß bei geeigneter Zuordnung der Namen zu den Gegenständen und Beziehungen die Axiome in wahre Behauptungen übergehen), dann treffen für diese Gegenstände und Beziehungen auch alle Lehrsätze der Geometrie zu. Das Axiomensystem selbst bringt also nicht eine Tatsächlichkeit zum Ausdruck, sondern es stellt nur eine mögliche Form eines Systems von Verknüpfungen dar, welches mathematisch nach seinen *inneren* Eigenschaften zu untersuchen ist.

Hiernach kommt die axiomatische Behandlung der Geometrie darauf hinaus, daß man von der Geometrie, so wie sie als Wissenschaft von den räumlichen Figuren vorliegt, den rein mathematischen Bestandteil der Erkenntnis ablöst und für sich abgesondert untersucht. Die räumlichen Verhältnisse werden gleichsam in die Sphäre des Mathematisch-Abstrakten projiziert, in welcher die Struktur ihres Zusammenhanges sich als ein Objekt des rein mathematischen Denkens darstellt und einer Forschungsweise unterzogen wird, die nur auf die logischen Beziehungen gerichtet ist, unbekümmert um die Frage nach der *sachlichen* Wahrheit, d. h. um die Frage, ob die durch die Axiome festgelegten geometrischen Verknüpfungen sich in der Wirklichkeit (oder auch nur in unserer räumlichen Anschauung) vorfinden.

Diese Art der Deutung, welche die axiomatische Methode in *Hilberts* Grundlagen der Geometrie erfuhr, bot nun insbesondere den Vorteil, daß sie nicht auf die Geometrie beschränkt war, sondern sich ohne weiteres auf andere Disziplinen übertragen ließ. Den Gesichtspunkt der Gleichartigkeit der axiomatischen Methode in ihrer Anwendung auf die verschiedensten Gebiete hat *Hilbert* auch von vornherein ins Auge gefaßt, und von ihm geleitet suchte er diese Methode in möglichst weitem Umfange zur Geltung zu bringen. So gelang es ihm insbesondere, die kinetische Gastheorie sowie die elementare Strahlungstheorie in strenger Weise axiomatisch zu begründen.

Auch schlossen sich der axiomatischen Forschungsweise *Hilberts* viele Mathematiker an und wirkten im Sinne seiner Bestrebungen. Insbesondere war es ein Erfolg der Axiomatik, als *Zermelo* im Gebiete der Mengenlehre die bis dahin bestehende Unsicherheit des Schließens durch eine geeignete axiomatische Abgrenzung der

Schlußweisen überwand und zugleich auch mit seinem Axiomensystem eine gemeinsame Grundlage für Zahlentheorie, Analysis und Mengenlehre schuf<sup>5)</sup>.

Eine Zusammenfassung der methodischen Leitgedanken und eine Übersicht über die Ergebnisse der axiomatischen Forschung hat *Hilbert* in seinem Züricher Vortrag über „Axiomatisches Denken“ (1917)<sup>6)</sup> gegeben. Hier kennzeichnet er die axiomatische Methode als ein allgemeines Verfahren des wissenschaftlichen Denkens. Dieses Verfahren setzt auf allen den Wissensgebieten ein, wo man bereits zur Aufstellung einer Theorie — oder, wie *Hilbert* es ausdrückt, zu einer Ordnung der Tatsachen mit Hilfe eines Fachwerkes von Begriffen — gelangt ist. Es zeigt sich dann jedesmal, daß zum logischen Aufbau der Theorie einige wenige Sätze ausreichen, und man gewinnt damit die Möglichkeit einer axiomatischen Grundlegung der Theorie. Diese wird zunächst im Sinne der alten Axiomatik erfolgen; man kann dann aber stets — so wie in der Geometrie — zu dem Hilbertschen axiomatischen Standpunkt übergehen, indem man von dem Erkenntnis-Charakter der Axiome absieht und das ganze Fachwerk der Begriffe nur (als eine *mögliche* Form eines Verknüpfungszusammenhanges) auf seine innere Struktur hin betrachtet.

Somit wird die Theorie zum Objekt einer rein mathematischen Untersuchung, welche eben die *axiomatische* heißt. Und zwar sind es bei allen Theorien dieselben Hauptfragen, welche man zu erörtern hat: Zunächst einmal muß das Axiomensystem, damit es einen möglichen Verknüpfungszusammenhang darstellt, der Bedingung der *Widerspruchsfreiheit* genügen, d. h. die in den Axiomen ausgedrückten Beziehungen müssen miteinander logisch vereinbar sein. Somit entsteht die Aufgabe eines Nachweises für die Widerspruchsfreiheit des Axiomensystems — ein Problem, welches die alte Auffassung der Axiomatik nicht kennt, weil hier ja jedes Axiom als Ausdruck einer Wahrheit gilt. Sodann kommt es darauf an, einen Überblick über die logischen *Abhängigkeiten* zwischen den verschiedenen Sätzen der Theorie zu gewinnen, insbesondere hat man zu untersuchen, ob die Axiome voneinander logisch unabhängig sind, oder ob etwa eines oder mehrere von ihnen aus den übrigen Axiomen bewiesen werden können und somit in ihrer Rolle als Axiome überflüssig sind. Außerdem aber besteht noch die Aufgabe, nach den Möglichkeiten einer „Tieferlegung der Fundamente“ der Theorie zu forschen, d. h. zu prüfen, ob nicht die vorliegenden Axiome der Theorie sich auf Sätze von fundamentalerem Charakter zurückführen lassen, welche dann „eine tiefere Schicht von Axiomen“ für das betrachtete Fachwerk von Begriffen bilden würden.

<sup>5)</sup> „Untersuchungen über die Grundlagen der Mengenlehre“, 1907. (Mathematische Annalen, Bd. 65.)

<sup>6)</sup> Mathematische Annalen, Bd. 78.



Diese Art der Untersuchung, welche durchaus mathematischen Charakter besitzt, läßt sich nun auf jedes Wissensgebiet anwenden, das überhaupt einer theoretischen Behandlung fähig ist, und ihre Ausführung ist für die Klarheit der Erkenntnis und für die systematische Übersicht von höchstem Wert. Somit gewinnt durch die Idee der Axiomatik das mathematische Denken eine universale Bedeutung für das wissenschaftliche Erkennen. In der Tat kann Hilbert behaupten: „Alles, was Gegenstand des wissenschaftlichen Denkens überhaupt sein kann, verfällt, sobald es zur Bildung einer Theorie reif ist, der axiomatischen Methode und damit der Mathematik.“

Mit dieser umfassenden Ausgestaltung des axiomatischen Gedankens war nun zwar ein hinlänglich weiter Rahmen für die mathematische Problemstellung gewonnen und die erkenntnistheoretische Fruchtbarkeit der Mathematik klargelegt. Aber in Betreff der *Sicherheit* des mathematischen Verfahrens blieb noch eine grundsätzliche Frage offen.

Nämlich als das Erste und Wichtigste bei der axiomatischen Untersuchung einer Theorie war ja die Aufgabe erkannt, die Widerspruchsfreiheit des Axiomensystems zu beweisen. In der Tat bildet die Widerspruchsfreiheit der Axiome die Lebensfrage für eine jede axiomatische Theorie; denn von ihr hängt es ab, ob das Fachwerk der Begriffe überhaupt einen Verknüpfungszusammenhang oder nur den Schein eines solchen darstellt.

Wenn wir nun zusehen, wie es bei den verschiedenen geometrischen und physikalischen Theorien, die eine axiomatische Begründung erfahren haben, mit dem Nachweis der Widerspruchsfreiheit bestellt ist, so finden wir, daß dieser überall nur in einem relativen Sinn erbracht ist: die Widerspruchsfreiheit des zu untersuchenden Axiomensystems wird bewiesen, indem man ein System von Gegenständen und von Beziehungen *innerhalb der mathematischen Analysis* aufweist, für welches die Axiome erfüllt sind. Diese „Methode der Zurückführung“ auf die Analysis (d. h. auf die Arithmetik im weiteren Sinne) hat zur Voraussetzung, daß die Analysis selbst ein widerspruchsfreies System bildet, — sei es nun, daß sie als ein Inbegriff von Erkenntnissen oder nur als ein axiomatisches Gebäude (d. h. als ein bloß mögliches System von Verknüpfungen) anzusehen ist.

Nun ist aber die Widerspruchsfreiheit der Analysis nicht so ohne weiteres selbstverständlich, wie man zunächst denken möchte. Die Schlußweisen, welche man in der Theorie der reellen Zahlen und der reellen Funktionen anwendet, haben nicht jenen Charakter des unmittelbar Handgreiflichen, wie er etwa den Schlüssen der elementaren Zahlentheorie eigen ist. Und wenn man die Beweismethoden von allem irgendwie Problematischen befreien will, so ist man genötigt, die Analysis axiomatisch aufzubauen. Es erweist sich somit die Notwendigkeit, auch für

die Analysis einen Beweis ihrer Widerspruchsfreiheit zu liefern.

Das Erfordernis eines solchen Nachweises zur Sicherheit der axiomatischen Methode und der Mathematik überhaupt hat Hilbert von Anfang an erkannt und betont. Und wenngleich seine Bemühungen um dieses Problem noch nicht zu dem Endziel geführt haben, so ist es ihm doch geglückt, den methodischen Ansatz zu finden, durch welchen die Aufgabe mathematisch angreifbar wird.

Die Grundgedanken dieses Ansatzes wurden von Hilbert schon 1904 in seinem Heidelberger Vortrag „Über die Grundlagen der Logik und der Arithmetik“<sup>7)</sup> dargelegt. Jedoch boten diese Ausführungen dem Verständnis große Schwierigkeiten und waren auch manchen Anfechtungen ausgesetzt. Seitdem hat Hilbert seinen Plan weiter verfolgt und seinen Ideen eine faßliche Form gegeben, die er kürzlich in einem Vortragszyklus in Hamburg zur Darstellung brachte.

Der Gedankengang, auf welchem der Hilbertsche Ansatz für die Grundlegung der Arithmetik und Analysis beruht, ist folgender: Die methodischen Schwierigkeiten der Analysis, auf Grund deren man in dieser Wissenschaft genötigt ist, über den Rahmen des konkret Vorstellbaren hinauszugehen, rühren davon her, daß die Stetigkeit und das Unendliche hier eine wesentliche Rolle spielen. Dieser Umstand würde auch für den Nachweis der Widerspruchsfreiheit der Analysis ein unüberwindliches Hindernis bilden, wenn dieser Nachweis in dem Sinne geführt werden müßte, daß man zeigt: ein System von Dingen wie es die Analysis annimmt — etwa das System aller endlichen oder unendlichen Mengen von ganzen Zahlen — ist logisch möglich.

Nun braucht aber die Behauptung der Widerspruchsfreiheit gar nicht in diesem Sinne bewiesen zu werden, vielmehr kann man ihr auch folgende ganz andere Wendung geben: die Schlußweisen der Analysis können niemals zu einem Widerspruch führen — oder, was auf dasselbe hinauskommt: es ist unmöglich, aus den Axiomen der Analysis und mit Hilfe ihrer Methoden des Schließens die Beziehung  $1 \neq 1$  („1 ist ungleich 1“) abzuleiten. Hier handelt es sich nicht um die Möglichkeit einer stetigen, unendlichen Mannigfaltigkeit von gewissen Eigenschaften, sondern um die Unmöglichkeit eines mathematischen Beweises mit bestimmten Eigenschaften. Ein mathematischer Beweis ist aber, im Unterschied von einer stetigen, unendlichen Mannigfaltigkeit, ein konkretes, in allen Teilen überblickbares Objekt; er muß sich, wenigstens grundsätzlich, von Anfang bis Ende vollständig mitteilen lassen. Und auch die verlangte Beschaffenheit des Beweises (daß er gemäß den Prinzipien der Analysis verläuft und zu dem Endergebnis  $1 \neq 1$  führt) ist eine konkret fest-

<sup>7)</sup> Anhang VII zu den „Grundlagen der Geometrie“.

stellbare Eigenschaft. Es besteht daher auch grundsätzlich durchaus die Möglichkeit, den Nachweis für die Widerspruchslöslichkeit der Analysis durch elementare, handgreiflich sichere Überlegungen zu erbringen; wir müssen nur den Standpunkt einnehmen, daß nicht diejenigen Gegenstände, auf welche sich die Beweise der Analysis beziehen, sondern vielmehr diese Beweise selbst das Objekt der Untersuchung bilden.

Auf Grund dieser Erwägung ergibt sich nun für *Hilbert* die Aufgabe einer genaueren Betrachtung der Formen mathematischer Beweise. Wir müssen — so sagt er in seinem Vortrag über axiomatisches Denken — „den Begriff des spezifisch mathematischen Beweises selbst zum Gegenstand einer Untersuchung machen, gerade wie ja auch der Astronom die Bewegung seines Standortes berücksichtigen, der Physiker sich um die Theorie seines Apparates kümmern muß und der Philosoph die Vernunft selbst kritisiert.“ Für die Struktur der mathematischen Beweise sind aber in erster Linie die allgemeinen Formen des logischen Schließens maßgebend. Daher muß die geforderte Untersuchung der mathematischen Beweise jedenfalls die logischen Schlußformen mitbetreffen. Und so erklärte auch *Hilbert* schon in dem Heidelberger Vortrag, daß „eine teilweise gleichzeitige Entwicklung der Gesetze der Logik und der Arithmetik erforderlich“ sei.

Mit diesem Gedanken knüpfte *Hilbert* an die *mathematische Logik* an. Diese Wissenschaft, deren Idee auf *Leibniz* zurückgeht und die sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, von primitiven Anfängen anhebend, zu einem fruchtbaren Felde des mathematischen Denkens entwickelte, hat die Methoden ausgebildet, wie man durch eine symbolische Bezeichnung der einfachsten logischen Verknüpfungen (wie „und“, „oder“, „nicht“, „alle“) einer mathematischen Beherrschung der Formen des logischen Schließens gelangt. Es zeigte sich, daß man durch diesen „Logikkalkül“ erst den vollen Überblick über das System der logischen Schlußformen gewinnt, von welchem die Schlußfiguren, die man in der traditionellen Logik behandelt, nur ein verhältnismäßig kleines Teilgebiet bilden. Insbesondere gelang es *Peano*, *Frege* und *Russell*, den Logikkalkül so auszugestalten, daß man damit die gedanklichen Schlüsse der mathematischen Beweise durch symbolische Operationen vollkommen nachbilden kann.

Dieses Verfahren des Logikkalküls bildet eine sinngemäße Ergänzung der Methode der axiomatischen Begründung einer Wissenschaft, insofern dadurch neben der genauen Festlegung der *Voraussetzungen*, wie sie die axiomatische Methode bewirkt, auch eine genaue Verfolgung der *Schlußweisen* ermöglicht wird, mit Hilfe deren man von den Grundsätzen einer Wissenschaft zu ihren Folgerungen gelangt.

Indem nun *Hilbert* das Verfahren der mathematischen Logik sich zu eigen machte, nahm er

an dieser Methode eine ganz entsprechende Umdeutung vor, wie er es mit der axiomatischen Methode getan hatte. So wie er ehemals die Grundbeziehungen und die Axiome der Geometrie ihres anschaulichen Inhalts entkleidete, so schaltete er nun aus den Beweisen der Arithmetik und Analysis, die er zum Gegenstand seiner Untersuchung macht, den gedanklichen Inhalt der Schlüsse aus, indem er die Formelsysteme, durch welche sich jene Beweise in dem Logikkalkül darstellen, losgelöst von ihrer inhaltlich-logischen Interpretation als das unmittelbare Objekt der Betrachtung nimmt und somit die Beweisführungen der Analysis durch ein rein formales Handeln ersetzt, welches mit bestimmten Zeichen nach festen Regeln stattfindet.

Durch diese Betrachtungsweise, in welcher die Absonderung des Spezifisch-Mathematischen von allem Inhaltlichen ihren Gipfelpunkt erreicht, gewinnt die Hilbertsche Ansicht von dem Wesen der Mathematik und der axiomatischen Methode erst ihren wirklichen Abschluß. Denn wir erkennen nunmehr, daß jene Sphäre des Mathematisch-Abstrakten, in welche die Denkmethode der Mathematik alles theoretisch Faßbare übersetzt, nicht diejenige des inhaltlich Logischen, sondern vielmehr das Gebiet des reinen Formalismus ist. Die Mathematik erweist sich als die allgemeine Lehre von den Formalismen, und indem wir sie als solche erfassen, wird auch ihre universale Bedeutung ohne weiteres klar.

Diese Bedeutung der Mathematik als allgemeine Formenlehre ist in der neueren Physik aufs glänzendste zutage getreten, insbesondere in der Einsteinschen Gravitationstheorie, wo der mathematische Formalismus für *Einstein* die Richtlinie abgab zur Aufstellung seines Gravitationsgesetzes, dessen genauere Form ohne Heranziehung der mathematischen Hilfsmittel niemals hätte gefunden werden können. Und hier war es wiederum *Hilbert*, der dieses Gravitationsgesetz zuerst auf seine einfachste mathematische Form brachte und, indem er die Möglichkeit einer harmonischen Zusammenfügung der Gravitationstheorie mit der Elektrodynamik aufzeigte, die weiteren an die Einsteinsche Theorie anknüpfenden mathematischen Spekulationen eröffnet hat, die dann von *Weyl* durch seine geometrische Idee zur systematischen Vollerfüllung geführt wurden. Falls diese Spekulationen sich in der Physik bewähren sollten, so würde damit der Triumph der Mathematik in der modernen Wissenschaft ein vollkommener sein.

Betrachten wir nun im ganzen den Gedanken-ertrag von *Hilberts* philosophischen Untersuchungen sowie die Wirkung, die sie ausgeübt haben, und halten wir uns andererseits die anfangs geschilderte Entfaltung der Mathematik in der neueren Zeit vor Augen, so zeigt sich uns das wesentliche an *Hilberts* philosophischer Leistung darin, daß er den Anspruch auf einen uni-



versalen geistigen Einfluß in der Wissenschaft, den sich die Mathematik durch ihre innerliche Vertiefung und ihre großzügige Ausgestaltung erworben hatte, mit Nachdruck und Erfolg zur Geltung gebracht hat, indem er eine weitherzige

philosophische Auffassung von der Mathematik entwickelte, welche es ermöglicht, der Bedeutung und Tragweite ihrer Methode gerecht zu werden. Die Freunde der mathematischen Wissenschaft werden ihm dafür dauernden Dank wissen.

## Verzeichnis der bisherigen Publikationen von David Hilbert

(nebst kurzen Inhaltsangaben).

Von Karl Siegel, Göttingen.

1. *Über die invarianten Eigenschaften spezieller binärer Formen, insbesondere der Kugelfunktionen*; Inaugural-Dissertation (Königsberg i. Pr. 1885, R. Leupold).

Ein Verfahren zur Darstellung von Invarianten und Covarianten eines Systems binärer Formen wird allgemein begründet und auf spezielle binäre Formen angewendet.

2. *Über eine allgemeine Gattung irrationaler Invarianten und Covarianten für eine binäre Grundform geraden Grades*. Berichte über die Verhandlungen der Königlichen Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, mathematisch-physische Classe, Bd. 37 (1885), S. 427—438.

Zur Erforschung der analytischen Natur und Bedeutung der invarianten Bildungen werden irrationale Invarianten eines Systems von Grundformen untersucht.

3. *Über die notwendigen und hinreichenden covarianten Bedingungen für die Darstellbarkeit einer binären Form als vollständiger Potenz*. Mathematische Annalen Bd. 27 (1886), S. 158—161.

Die notwendige und hinreichende Bedingung wird durch das identische Verschwinden einer gewissen Covariante geliefert.

4. *Über einen allgemeinen Gesichtspunkt für invariantentheoretische Untersuchungen im binären Formengebiet* (Königsberger Habilitationsschrift). Mathematische Annalen Bd. 28 (1887), S. 381—446.

Weiterführung der vorläufigen Mitteilung 2.

5. *Über eine Darstellungsweise der invarianten Gebilde im binären Formengebiet*. Mathematische Annalen Bd. 30 (1887), S. 15—29.

Verkürzte Wiedergabe der Dissertation 1.

6. *Über die Singularitäten der Discriminantenfläche*. Mathematische Annalen Bd. 30 (1887), S. 437—441.

Bestimmung der Gesamtordnung der singulären Gebilde der Discriminantenfläche.

7. *Über binäre Formenbüschel mit besonderer Combinanteneigenschaft*. Mathematische Annalen Bd. 30 (1887), S. 561—570.

Ableitung einiger Sätze über das identische Verschwinden von Überschiebungen zweier Formen.

8. *Über die Büschel von binären Formen mit der nämlichen Functional-determinante*. Berichte über die Verhandlungen der Königlichen Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, mathematisch-physische Classe, Bd. 39 (1887), S. 112 bis 122.

Aufstellung aller Formenbüschel von gegebener Functional-determinante. Vgl. auch 15.

9. *Über binäre Formen mit vorgeschriebener Discriminante*. Mathematische Annalen Bd. 31 (1888), S. 482—492.

Alle Formenbüschel  $\alpha\varphi + \mu\psi$  werden be-

stimmt, deren Discriminante eine gegebene binäre Form 2ter, 4ter, 6ter Ordnung der Variablen  $\alpha, \mu$  ist.

10. *Über die Discriminante der im Endlichen abbrechenden hypergeometrischen Reihe*. Journal für die reine und angewandte Mathematik Bd. 103 (1888), S. 337—345.

Neue Ableitung des von Stieltjes gegebenen Ausdrucks der Discriminante.

11. *Lettre adressée à M. Hermite*. Journal de Mathématiques pures et appliquées, 4. Reihe, Bd. 4 (1888), S. 249—256.

Anwendung eines allgemeinen Prinzips auf die Untersuchung biquadratischer binärer und kubischer ternärer Formen.

12. *Über die Darstellung definiter Formen als Summe von Formenquadraten*. Mathematische Annalen Bd. 32 (1888), S. 342—350.

Beweis der Vermutung von Minkowski über die Existenz definiter Formen gerader Ordnung, welche nicht als Summe von Quadraten endlich vieler reeller Formen darstellbar sind.

13. *Zur Theorie der algebraischen Gebilde*. Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1888, S. 450—457.

Vgl. 18.

14. *Über die Endlichkeit des Invariantensystems für binäre Grundformen*. Mathematische Annalen Bd. 33 (1889), S. 223—226.

Neuer Beweis des Satzes von Gordan über die Endlichkeit des Invariantensystems.

15. *Über Büschel von binären Formen mit vorgeschriebener Functional-determinante*. Mathematische Annalen Bd. 33 (1889), S. 227—236.

Vgl. 8.

16. *Zur Theorie der algebraischen Gebilde II*. Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1889, S. 25—34.

Vgl. 18.

17. *Zur Theorie der algebraischen Gebilde III*. Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1889, S. 423—430.

Vgl. 18.

18. *Über die Theorie der algebraischen Formen*. Mathematische Annalen Bd. 36 (1890), S. 473—534.

Beweis der Sätze: 1. Zu jeder Folge von Formen  $F_1, F_2, \dots$  in  $n$  Variablen gibt es eine Zahl  $m$  derart, daß jede Form  $F$  der Folge in der Gestalt

$$F = A_1 F_1 + \dots + A_m F_m$$

darstellbar ist, wo  $A_1, \dots, A_m$  gewisse Formen derselben Variablen bedeuten; haben dabei  $F_1,$

- $F_2, \dots$  ganzzahlige Koeffizienten, so gilt dasselbe von  $A_1, \dots, A_m$ . 2. Bei jedem System von Grundformen beliebig vieler Variablenreihen, welche denselben oder verschiedenen Transformationen unterliegen, lassen sich alle ganzen rationalen Invarianten als ganze rationale Funktionen von endlich vielen festen ganzen rationalen Invarianten ausdrücken. Vgl. auch 13., 16., 17.
19. *Über die reellen Züge algebraischer Curven.* Mathematische Annalen Bd. 38 (1891), S. 115–138.  
Aufstellung aller gestaltlich verschiedenen Arten von Raumkurven fester Ordnung mit der Maximalzahl reeller Züge.
20. *Über die stetige Abbildung einer Linie auf ein Flächenstück.* a) Verhandlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte, 63. Versammlung zu Bremen, 15.–20. September 1890 (Leipzig 1891, F. C. W. Vogel), S. 11–12. b) Mathematische Annalen Bd. 38 (1891), S. 459–460. c) *Prace matematyczno-fizyczne* Bd. 5 (1894), S. 13–14 (ins Polnische übersetzt von S. Dickstein unter dem Titel: *O odwzorowaniu ciągłym linii na kawałku powierzchni*).  
Angabe eines einfachen Beispiels für die Abbildung eines Quadrates auf eine Strecke.
21. *Über die diophantischen Gleichungen vom Geschlecht Null.* Acta mathematica Bd. 14 (1891), S. 217–224. (Zusammen mit A. Hurwitz.)  
Anwendung der Sätze von M. Noether über birationale Transformation zur Reduktion diophantischer Gleichungen vom Grade  $n \geq 3$  und Geschlecht 0 auf solche zweiten oder dritten Grades.
22. *Über die Theorie der algebraischen Invarianten.* Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1891, S. 232–242.  
Vgl. 27.
23. *Über die Irreducibilität ganzer rationaler Funktionen mit ganzzahligen Coefficienten.* Journal für die reine und angewandte Mathematik Bd. 110 (1891), S. 104–129.  
Beweis des Satzes: Ist ein Polynom von  $n (\geq 2)$  Variablen in einem algebraischen Zahlkörper irreduzibel, so lassen sich für irgend  $r (< n)$  von den Variablen solche ganzen rationalen Zahlen einsetzen, daß das neue Polynom von  $n-r$  Variablen auch noch irreduzibel ist.
24. *Über volle Invariantensysteme.* a) Verhandlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte, 64. Versammlung zu Halle a. S. 21. bis 25. September 1891 (Leipzig 1891/92, F. C. W. Vogel), S. 11–12. b) Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung, Bd. 1 (1892), S. 61–62.  
Vgl. 27.
25. *Über die Theorie der algebraischen Invarianten II.* Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1892, S. 6–16.  
Vgl. 27.
26. *Über die Theorie der algebraischen Invarianten III.* Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1892, S. 439–449.  
Vgl. 27.
27. *Über die vollen Invariantensysteme.* Mathematische Annalen Bd. 42 (1893), S. 313–373.  
Unter Benutzung von 18. wird eine Methode zur Aufstellung des vollen Invariantensystems von Grundformen beliebig vieler Variablen begründet.  
Vgl. auch 22., 24., 25., 26.
28. *Über ternäre definite Formen.* Acta mathematica Bd. 17 (1893), S. 169–197.  
Beweis des Satzes: Jede ternäre definite Form ist Quotient zweier Summen von Quadraten reeller Formen.
29. *Über die Transcendenz der Zahlen  $e$  und  $\pi$ .* a) Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1893, S. 113 bis 116. b) Mathematische Annalen Bd. 43 (1893), S. 216–219. c) *Prace matematyczno-fizyczne*, Bd. 5 (1894), S. 1–5 (ins Polnische übersetzt von S. Dickstein unter dem Titel: *O przestępności liczb  $e$  i  $\pi$* ).  
Vereinfachung der Beweise von Hermite und Lindemann.
30. *Grundzüge einer Theorie des Galois'schen Zahlkörpers.* Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1894, S. 224–236.  
Für jeden Galois'schen Körper werden gewisse besonders wichtige Unterkörper (Zerlegungskörper, Trägheitskörper, Verzweigungskörper) definiert.
31. *Ein Beitrag zur Theorie des Legendre'schen Polynoms.* Acta mathematica Bd. 18 (1894), S. 155 bis 160.  
Berechnung der Discriminante der quadratischen Form  

$$\int_0^1 (x_1 + tx_2 + \dots + t^{n-1}x_n)^2 dt$$
mit Hilfe der Kugelfunktionen.
32. *Zwei neue Beweise für die Zerlegbarkeit der Zahlen eines Körpers in Primideale.* Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung Bd. 3 (1894), S. 59.  
Vgl. 33.
33. *Über die Zerlegung der Ideale eines Zahlkörpers in Primideale.* Mathematische Annalen Bd. 44 (1894), S. 1–8.  
Der Satz von Dedekind über die Eindeutigkeit der Primidealzerlegung wird unter Benutzung eines Galois'schen Körpers bewiesen.  
Vgl. auch 33.
34. *Über den Dirichlet'schen biquadratischen Zahlkörper.* Mathematische Annalen Bd. 45 (1894), S. 309–340.  
Rein arithmetische Begründung der Theorie derjenigen biquadratischen Zahlkörper, welche die Zahl  $\sqrt{-1}$  enthalten; Einteilung seiner Idealklassen in Geschlechter; Ableitung des Dirichlet'schen Reziprozitätsgesetzes der quadratischen Reste im Körper der Gauß'schen ganzen komplexen Zahlen.
35. *Über die gerade Linie als kürzeste Verbindung zweier Punkte.* a) Mathematische Annalen Bd. 46 (1895), S. 91–96. b) *L'enseignement mathématique* Bd. 3 (1901), S. 194–200 (Übersetzung ins Französische von L. Laugel unter dem Titel: *Sur la ligne droite regardée comme étant le plus court chemin d'un point à un autre*).  
Axiomatische Begründung des Satzes: In jedem Dreieck ist die Summe zweier Seiten nicht kleiner als die dritte Seite.



36. *De Seguir. Formes quadratiques et multiplication complexe d'après Kronecker.* Göttingische gelehrte Anzeigen, Jahrgang 1895, Bd. I, S. 11—14.  
Besprechung des Buches von Seguir.
37. *Ein neuer Beweis des Kronecker'schen Fundamentalsatzes über Abel'sche Zahlkörper.* Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1896, S. 29—39.  
Rein arithmetischer Beweis des Satzes: Alle absolut Abelschen algebraischen Zahlkörper sind Kreiskörper.
38. *Zur Theorie der aus  $n$  Haupteinheiten gebildeten komplexen Größen.* Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1896, S. 179—183.  
Ableitung eines Satzes von Dedekind über hyperkomplexe Größen mit Hilfe eines in der Theorie der algebraischen Invarianten benutzten Satzes.
39. *Über die Theorie der algebraischen Invarianten.* Mathematical Papers read at the International Mathematical Congress held in connection with the world's Columbian Exposition Chicago 1893 (New York 1896, Macmillan and Co.), S. 116 bis 124.  
Übersicht über die Entwicklung der Invariantentheorie.
40. *Zum Gedächtnis an Karl Weierstraß.* Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Geschäftliche Mitteilungen, Jahrgang 1897, S. 60—69.
41. *Die Theorie der algebraischen Zahlkörper.* Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung Bd. 4 (1897), S. I—XVIII und 175—546.  
Bericht über die höhere Arithmetik mit kurzen Beweisen der Sätze; ausführliche Darstellung der Theorie des Kummerschen Zahlkörpers. Vgl. auch 68. und 76.
42. *Über diophantische Gleichungen.* Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1897, S. 48—54.  
Beweis des Satzes: Die Diskriminante eines Polynoms vom Grade  $\geq 4$  mit ganzen rationalen Koeffizienten ist von  $\pm 1$  verschieden.
43. *Über die Entwicklung einer beliebigen analytischen Function einer Variablen in eine unendliche, nach ganzen rationalen Functionen fortschreitende Reihe.* Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1897, S. 63—70.  
Verschärfung des Satzes von Runge über die Entwicklung analytischer Functionen in eine Reihe rationaler Functionen.
44. *Über die Theorie der relativ-Abelschen Zahlkörper.* Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1898, S. 370—399.  
Vgl. 54.
45. *Über die Theorie des relativquadratischen Zahlkörpers.* Mathematische Annalen Bd. 51 (1899), S. 1—127.  
Beweis des allgemeinen Reziprozitätsgesetzes der quadratischen Reste für total imaginäre Körper mit ungerader Klassenzahl.
46. *Über die Theorie der relativquadratischen Zahlkörper.* Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung Bd. 6 (1899), S. 88—94.  
Verallgemeinerung des quadratischen Reziprozitätsgesetzes auf beliebige Grundkörper.
47. *Grundlagen der Geometrie.* a) Festschrift zur Feier der Enthüllung des Gauß-Weber-Denkmal in Göttingen (Leipzig 1899, B. G. Teubner), 92 S.; 2. Aufl. (Leipzig 1903, B. G. Teubner). V + 175 S.; 3. Aufl. (Leipzig und Berlin 1909, B. G. Teubner), VI + 279 S.; 4. Aufl. (Leipzig und Berlin 1913, B. G. Teubner), VI + 258 S. b) Annales scientifiques de l'école normale supérieure, 3. Reihe, Bd. 17 (1900), S. 103—209 (etwas veränderte Übertragung ins Französische von L. Laugel unter dem Titel: *Les principes fondamentaux de la géométrie*). c) (Chicago 1902, The Open Court Publishing Company) VII + 132 S. (ins Englische übersetzt von E. J. Townsend unter dem Titel: *The foundations of geometry*).  
Axiomatische Begründung der Geometrie; Beweis der Widerspruchlosigkeit; Untersuchung der Sätze von Pascal und Desargues.
48. *Mathematische Probleme. Vortrag, gehalten auf dem internationalen Mathematikerkongress zu Paris 1900.* a) Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1900, S. 253—297. b) Archiv der Mathematik und Physik, 3. Reihe, Bd. 1 (1900), S. 44—63 und S. 213—237. c) L'enseignement mathématique Bd. 2 (1900), S. 349—355 (Auszug in französischer Übersetzung unter dem Titel: *Problèmes mathématiques*). d) Compte rendu du deuxième congrès international des mathématiciens tenu à Paris du 6 au 12 août (Paris 1902, Gauthier-Villars), S. 58—114 (ins Französische übersetzt von L. Laugel unter dem Titel: *Sur les problèmes futurs des mathématiques*). e) Bulletin of the American Mathematical Society, 2. Reihe, Bd. 8 (1902), S. 437—479 (ins Englische übersetzt von Mary Winston Newson unter dem Titel: *Mathematical problems*).
49. *Über den Zahlbegriff.* a) Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung Bd. 8 (1900), S. 180—184. b) (ins Russische übersetzt von A. Wassilieff).  
Vortrag über die axiomatischen Grundlagen der Arithmetik.
50. *Über das Dirichletsche Prinzip.* a) Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung Bd. 8 (1900), S. 184—188. b) Nouvelles annales de mathématiques, 3. Reihe, Bd. 19 (1900), S. 337 bis 344 (ins Französische übersetzt von L. Laugel unter dem Titel: *Sur le principe de Dirichlet*). c) Journal für die reine und angewandte Mathematik Bd. 129 (1905), S. 63—67.  
Fundierung der Methode des Dirichletschen Prinzips; Anwendung zur Lösung von Variationsproblemen.
51. *Über das Dirichletsche Prinzip.* a) Festschrift zur Feier des 150jährigen Bestehens der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, 1901, 27 S. b) Mathematische Annalen Bd. 59 (1904), S. 161—186.  
Von 50. verschiedene Begründung des Dirichletschen Prinzips, dargestellt am Existenzbeweis der Integrale erster Gattung auf einer gegebenen Riemannschen Fläche.

52. *Über Flächen von konstanter Gaußscher Krümmung.* Transactions of the American Mathematical Society, Bd. 2 (1902), S. 87—99.  
Beweis der Sätze: 1. Es gibt keine singularitätenfreie analytische Fläche von konstanter negativer Krümmung. 2. Die Kugel ist die einzige im Endlichen geschlossene singularitätenfreie analytische Fläche von konstanter positiver Krümmung.
53. *Über die Grundlagen der Geometrie.* a) Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1902, S. 233—241. b) Mathematische Annalen Bd. 56 (1902), S. 381 bis 422.  
Axiomatische Begründung der Euklidischen und Bolyai-Lobatschewskischen Geometrie.
54. *Über die Theorie der relativ-Abelschen Zahlkörper.* Acta mathematica Bd. 26 (1902), S. 99—131.  
Aufstellung der wichtigsten Sätze über relativ-quadratische Zahlkörper bei beliebigem algebraischen Grundkörper und über den Klassenkörper eines algebraischen Zahlkörpers. Vgl. auch 44.
55. *Neue Begründung der Bolyai-Lobatschewskischen Geometrie.* Mathematische Annalen Bd. 57 (1903), S. 137—150.  
Die Geometrie von Bolyai-Lobatschewskij wird ohne Stetigkeitsaxiome begründet.
56. *Über den Satz von der Gleichheit der Basiswinkel im gleichschenkligen Dreieck.* Proceedings of the London Mathematical Society Bd. 35 (1903), S. 50—68.  
Untersuchungen über die zur Herleitung des Satzes notwendigen Axiome.
57. *Theorie der algebraischen Zahlkörper.* Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften mit Einschluß ihrer Anwendungen Bd. I 2 (Leipzig 1900—1904, B. G. Teubner), S. 675—698. Vgl. auch 79.
58. *Theorie der Kreiskörper.* Ebendasselbst, S. 699 bis 714. Vgl. auch 79.
59. *Grundzüge einer allgemeinen Theorie der linearen Integralgleichungen.* Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse. Erste Mitteilung, Jahrgang 1904, S. 49—91; Zweite Mitteilung, Jahrgang 1904, S. 213—259; Dritte Mitteilung, Jahrgang 1905, S. 307—338; Vierte Mitteilung, Jahrgang 1906, S. 157—227; Fünfte Mitteilung, Jahrgang 1906, S. 439—480; Sechste Mitteilung, Jahrgang 1910, S. 355—417.  
Funktionen unendlich vieler Veränderlicher; Lineare Integralgleichungen; Anwendungen auf gewöhnliche und partielle Differentialgleichungen. Funktionentheorie, Variationsrechnung, Geometrie, Hydrodynamik. Vgl. auch 69.
60. *Über die Grundlagen der Logik und der Arithmetik.* a) Verhandlungen des dritten internationalen Mathematiker-Kongresses in Heidelberg vom 8. bis 13. August 1904 (Leipzig 1905, B. G. Teubner), S. 174—185. b) L'enseignement mathématique Bd. 7 (1905), S. 89—103 (ins Französische übersetzt unter dem Titel: *Sur les fondements de la logique et de l'arithmétique*). c) The Monist, Jahrgang 1905, S. 338—352 (ins Englische übersetzt von G. B. Halsted unter dem Titel: *On the foundations of logic and arithmetic*).  
Vortrag über die Widerspruchsfreiheit der Axiome der Arithmetik.
61. *Über eine Anwendung der Integralgleichungen auf ein Problem der Funktionentheorie.* Verhandlungen des dritten internationalen Mathematiker-Kongresses in Heidelberg vom 8. bis 13. August 1904 (Leipzig 1905, B. G. Teubner), S. 233—240.  
Existenzbeweis für eine in einem Gebiete analytische Funktion, deren Real- und Imaginärteil auf dem Rande einer linearen Relation genügen.
62. *Zur Variationsrechnung.* a) Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1905, S. 159—180. b) Mathematische Annalen Bd. 62 (1906), S. 351—370.  
Übertragung der Methode des unabhängigen Integrals auf Doppelintegrale.
63. *Wesen und Ziele einer Analysis der unendlichvielen unabhängigen Variablen.* Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo Bd. 27 (1909), S. 59—74.  
Ableitung einiger Sätze über analytische Funktionen mit unendlich vielen Veränderlichen.
64. *Beweis für die Darstellbarkeit der ganzen Zahlen durch eine feste Anzahl  $n$ ter Potenzen (Waring'sches Problem).* Dem Andenken an Hermann Minkowski gewidmet. a) Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1909, S. 17—36. b) Mathematische Annalen Bd. 67 (1909), S. 281—300.  
Beweis des Satzes von Waring über die Zerlegung natürlicher Zahlen in  $n$ te Potenzen.
65. *Hermann Minkowski. Gedächtnisrede, gehalten in der öffentlichen Sitzung der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen am 1. Mai 1909.* a) Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Geschäftliche Mitteilungen, Jahrgang 1909, S. 72 bis 101. b) Mathematische Annalen Bd. 68 (1910), S. 445—471.
66. *Über die Gestalt einer Fläche vierter Ordnung.* Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1909, S. 308—313.  
Nachweis der Existenz einer singularitätenfreien Fläche vierter Ordnung vom Maximalrange 12.
67. *Zur Theorie der konformen Abbildung.* Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1909, S. 314—323.  
Aufstellung eines Satzes über die konforme Abbildung eines beliebig oft zusammenhängenden beliebig vielblättrigen Gebietes auf einen Schlitzbereich.
68. *Théorie des corps de nombres algébriques* (Traduit par M. A. Lévy, Professor au Lycée Voltaire). Annales de la Faculté des Sciences de l'Université de Toulouse, 3. Reihe, Bd. 1 (1909), S. 257 bis 328, und 3. Reihe, Bd. 2 (1912) S. 225—456.  
Französische Übersetzung von 41.
69. *Grundzüge einer allgemeinen Theorie der linearen Integralgleichungen.* Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1910, S. 595—618.  
Sachlich geordnete Wiedergabe des Inhalts der 6 Mitteilungen 59. ohne Beweise.



70. *Grundzüge einer allgemeinen Theorie der linearen Integralgleichungen.* (Leipzig und Berlin 1912, B. G. Teubner), XXVI + 282 S.  
Abdruck von 59. und 71.
71. *Begründung der kinetischen Gastheorie.* Mathematische Annalen Bd. 71 (1912), S. 562—577.  
Zurückführung der Fundamentalformel von Maxwell-Boltzmann in der kinetischen Gastheorie auf eine lineare Integralgleichung zweiter Art. Vgl. auch 70.
72. *Über den Begriff der Klasse von Differentialgleichungen.* a) Festschrift Heinrich Weber, zu seinem siebenzigsten Geburtstag am 5. März 1912 gewidmet von Freunden und Schülern (Leipzig und Berlin 1912, B. G. Teubner), S. 130—146. b) Mathematische Annalen Bd. 73 (1912), S. 95 bis 108.  
Zwei Differentialgleichungen mit zwei unabhängigen und einer abhängigen Variablen nennt man zur selben Klasse gehörig, wenn sie umkehrbar integrallos ineinander transformiert werden können. Nachweis der Existenz mehrerer Klassen.
73. *Begründung der elementaren Strahlungstheorie.* a) Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1912, S. 773—789. b) Physikalische Zeitschrift, 13. Jahrgang (1912), S. 1056—1064. c) Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung Bd. 22 (1913), S. 1—15.  
Ableitung der Sätze von Kirchhoff mit Hilfe der Theorie der linearen Integralgleichungen.
74. *Zusatz zur Begründung der elementaren Strahlungstheorie.* Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung Bd. 22 (1913), S. 16—20.
75. *Bemerkungen zur Begründung der elementaren Strahlungstheorie.* a) Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1913, S. 409—416. b) Physikalische Zeitschrift, 14. Jahrgang (1913), S. 592—595.  
Axiomatische Grundlagen der Sätze von Kirchhoff.
76. *Théorie des corps de nombres algébriques* (Traduit par A. Lévy et Th. Got), (Paris 1913, A. Hermann et Fils), XVI + 380 S.  
Französische Übersetzung von 41. mit Zusätzen von Humbert und Got.
77. *Zur Begründung der elementaren Strahlungstheorie (dritte Mitteilung).* a) Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, Jahrgang 1914, S. 275—298. b) Physikalische Zeitschrift, 15. Jahrgang (1914), S. 878—889.  
Neuer elementarer Beweis des Kirchhoffschen Satzes; Nachweis der Widerspruchslösigkeit der benutzten Axiome.
78. *Über die Invarianten eines Systems von beliebig vielen Grundformen.* Mathematische Abhandlungen Hermann Amandus Schwarz zu seinem fünfzigjährigen Doktorjubiläum am 6. August 1914 gewidmet von Freunden und Schülern (Berlin 1914, Julius Springer), S. 448—451.  
Nachweis der Darstellbarkeit aller ganzen rationalen Invarianten eines Systems von Grundformen als ganze algebraische Funktionen gewisser Invarianten.
79. *Théorie des corps de nombres algébriques.* Exposé, d'après l'article allemand de D. Hilbert (Göttingue), par H. Vogt (Nancy). Encyclopédie des sciences mathématiques pures et appliquées Bd. I 3 (Paris und Leipzig 1915, Gauthier-Villars et Cie. und B. G. Teubner), S. 388—473.  
Mit Zusätzen versehene Übertragung von 57. und 58. ins Französische.
80. *Die Grundlagen der Physik.* Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse; Erste Mitteilung, Jahrgang 1915, S. 395—407; Zweite Mitteilung, Jahrgang 1917, S. 53—76.  
Ableitung der Grundgleichungen der Physik aus den Axiomen von der Weltfunktion und von der allgemeinen Invarianz; Kausalität in der neuen Physik; Geometrie und Physik; Euklidische Pseudogeometrie als Lösung der physikalischen Grundgleichungen.
81. *Gaston Darboux (1842—1917).* a) Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Geschäftliche Mitteilungen, Jahrgang 1917, S. 71—75. b) Acta mathematica Bd. 42 (1919), S. 269—273 (Übersetzung ins Französische).  
Gedächtnisrede auf Darboux.
82. *Axiomatisches Denken.* a) Mathematische Annalen Bd. 78 (1918), S. 405—415. b) L'enseignement mathématique Bd. 20 (1919), S. 122—136 (Übersetzung ins Französische von A. Reymond unter dem Titel: *Pensée axiomatique*).  
Abdruck eines Zürcher Vortrages über die axiomatische Behandlung der Mathematik.
83. *Adolf Hurwitz.* a) Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Geschäftliche Mitteilungen, Jahrgang 1920, S. 75—83. b) Mathematische Annalen Bd. 83 (1921), S. 161—172.  
Gedächtnisrede auf Hurwitz.

Das Heft verdankt seine Redaktion Herrn *Prof. R. Courant* in Göttingen.  
Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: *Dr. Arnold Berliner*, Berlin W 9.  
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck von H. S. Hermann & Co. in Berlin SW



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von

**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 5. (Seite 105—120)

3. Februar 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Oswald Schmiedeberg. Von *Hans H. Meyer, Wien.* S. 105.

Über die Lokalisation von Schallquellen. Von *H. Hecht, Kiel.* (Mit 1 Abbildung.) S. 107.

Die Entstehung des Torfes und der Kohle. Von *Hans Höfer von Heimhalt, Wien.* (Mit 3 Abbildungen.) S. 113.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:  
Bemerkungen zu Koffkas Referat über W.

Köhlers Arbeit: Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand. Von *K. C. Schneider, Wien.* S. 116.

Erwiderung. Von *W. Köhler.* S. 117.

Über die Herstellung spiegelnder Oberflächen. S. 117.

Astronomische Mitteilungen: S. 119—120.

Neue Darstellungen der Milchstraße. The local starsystem.

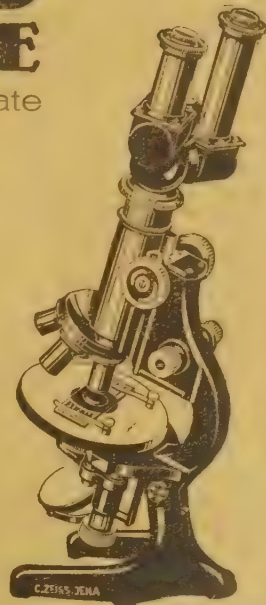
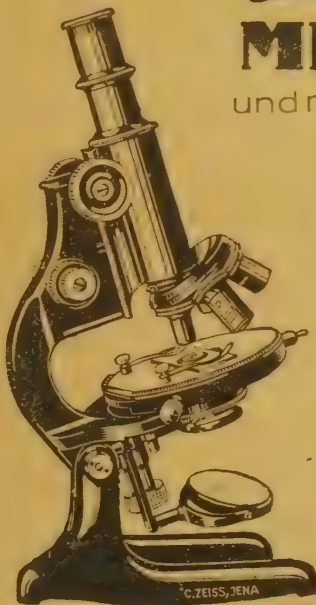
## ZEISS MIKROSKOPE

und mikroskopische Hilfsapparate

**Lupen  
Projektionsapparate  
Epidiaskope  
Photo - Objektive**

usw.

Druckschriften auf  
Wunsch kostenfrei



### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 40.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 4.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Peitzelle angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24.  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin. Depositen-Kasse C.  
Postcheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 2020 Julius Springer,  
für Anzeigen- u. Beilagenbeträge: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.  
Konten: für alle übrigen Zahlungen: Berlin Nr. 11100 Julius Springer.

Man verlange  
Listen!



### Projektions-Apparate Liesegang

Hochkerziges

## Globoscop

entwirft scharfe, helle Lichtbilder nach jedem Papierbild. An jede elektrische Lichtleitung anzuschließen.

Neue große Lichtbilder-Sammlung  
aus allen Gebieten  
für Lehr- und Vortragszwecke!

Ed. Liesegang, Düsseldorf  
Brieffach 124

Von der 2. Auflage von IV  
**Chwolson, Lehrbuch der Physik**

liegt fertig vor:

Band I, Abt. I: **Mechanik und Meßmethoden**  
Gebunden 34.55 Mk.

Abt. II: **Lehre von den gasförmigen,  
flüssigen u. festen Körpern**  
Gebunden 38.40 Mk.

Band II, Abt. I: **Lehre vom Schall**  
Gebunden 23.— Mk.

**Hermann Meusser, Buchhandlung**  
Berlin W 57/9, Potsdamer Straße 75 (225)

## Die Naturwissenschaften 1915 bis 1920 zu kaufen gesucht.

Angebote unter **Nw. 236** an die Expedition dieser  
Zeitschrift erbeten. (286)

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

## Handbuch der experimentellen Pharmakologie

In drei Bänden

Von

**A. Heffter**

Professor der Pharmakologie an der Universität Berlin

Unter Mitwirkung hervorragender Fachleute

Zuerst erschien:

**Zweiter Band. 1. Hälfte**

Pyridin, Chinolin, Chinin, Chininderivate — Cocaingruppe, Yohimbim — Curare und Curarealkaloide — Veratrin und Protoveratrin — Aconitingruppe — Pelletierin — Strychningruppe — Santonin — Pikrotonin und verwandte Körper — Apomorphin, Apocodein, Ipecacuanha — Alkaloide — Colchicingruppe — Purinderivate.

Mit 98 Textabbildungen (598 S.)

1920. Preis M. 48.— (Teuerungszuschlag)



# DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zehnter Jahrgang.

3. Februar 1922.

Heft 5.

## Oswald Schmiedeberg.

Von Hans H. Meyer, Wien.

Im Sommer des verflossenen Jahres hat man einen der großen und bahnbrechenden Gelehrten Deutschlands zu Grabe getragen, den Pharmakologen *Oswald Schmiedeberg*, der nach kurzer, plötzlich eingetretener Krankheit in seinem dreiundachtzigsten Lebensjahr verschieden ist. Zwei Jahre vorher war der einundachtzigjährige berühmte Gelehrte aus Straßburg, wo er die deutsche Universität hatte gründen helfen und ein halbes Jahrhundert hindurch zu ihrem Weltruhm beigetragen, durch die Franzosen schonungslos vertrieben worden und lebte seitdem zurückgezogen und bis zu den letzten Lebenstagen ganz seiner schriftstellernden Gedankenarbeit hingegeben in Baden-Baden; dort hatte sich schon seit Jahren sein langjähriger Arbeitsgenosse und Freund *Bernhard Naunyn* auf einem schöngelagerten, bergwaldbegrenzten Grunde angesiedelt, und ein Zufall fügte es, daß *Schmiedeberg* in unmittelbarer Nachbarschaft davon eine freundliche Wohnung gefunden.

*Schmiedebergs* Name ist in allen Kulturländern bekannt und berühmt, aber freilich nicht wie jene großen als „Wohltäter der Menschheit“ gepriesenen Ärzte, die *Billroth*, *Koch*, *Behring*, in weiten und allgemeinen Kreisen der Bevölkerung, sondern wohl fast nur bei den Ärzten selbst und den Vertretern und Jüngern der medizinischen Wissenschaft. Denn die *Pharmakologie*, die mit *Schmiedebergs* Namen für alle Zeit verknüpft bleiben wird, ist eine theoretisch forschende und erklärende, der Nutzenanwendung und ärztlichen Kunst nicht unmittelbar dienende Wissenschaft. Sie ist dazu noch eine der jüngsten und deshalb selbst in älteren ärztlichen Kreisen fast unbekannt oder doch unverstanden. Wegen ihres Namens wird sie oft mit den pharmazeutischen Disziplinen zusammengeworfen, mit der Pharmazie und der Pharmakognosie. Aber zu diesen verhält sie sich etwa so, wie die physiologische Farbenlehre zur Technologie und Chemie der Farbstoffe und Malerfarben: jene gehört dem experimentierenden Physiologen, diese dem Chemiker und dem Drogisten. Und wie der malende Künstler neben der für ihn selbstverständlichen Kenntnis von der stofflichen Beschaffenheit und technischen Behandlung und Brauchbarkeit seiner farbigen Tuschen und Palettenfarben vor allem Bescheid wissen muß von der bildschaffenden Wirkung der farbigen Lichter und Schatten und ihrer Kontraste, so soll der Heilkünstler zwar auch seine „Heilmittel“, die Phar-

maka, nach ihrer äußeren Natur, Herkunft, chemischen Beschaffenheit und zweckmäßigen Form der Verwendung kennen und somit das erforderliche *pharmazeutische* Wissen haben, um sicher und fehlerlos Arzneien verschreiben oder auch selbst anfertigen zu können; aber viel wichtiger und allein wesentlich für seine ärztliche Kunst ist das Verständnis und Urteil von den *Wirkungen* der Heilmittel auf den menschlichen Körper mit seinen Tätigkeiten, d. i. das *pharmakologische* Wissen. Dies zu vermitteln ist die analysierende experimentelle Pharmakologie berufen.

Was man in früherer Zeit von den „Wirkungen“ der Heilmittel zu wissen glaubte, waren zum größten Teil willkürliche Annahmen, abgeleitet aus den wechselnden Erfahrungen und Eindrücken am Krankenbett und bestimmt durch die jeweiligen Vorstellungen über das Wesen der Krankheiten selbst. Sehr bezeichnend hatte *Johann Nepomuk Rust*, der berühmte Wiener Arzt aus der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts, gelegentlich gesagt, die Geschichte des Opiums sei die Geschichte der Medizin, da in den verschiedenen ihm aufgedrungenen Wirkungen sich die verschiedenen Systeme und Theorien der Medizin widerspiegeln. Und *C. v. Pfeuffer* riet gar in seiner neu begründeten Zeitschrift für rationale Medizin (1844) den „angehenden Ärzten vorläufig das, was sie in den Vorlesungen und Handbüchern über Arzneimittel etwa behalten hätten, so schnell als möglich zu vergessen“. So stand es bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts. Freilich konnte auch erst auf dem seit kurzem neu erschlossenen und urbargemachten Grunde der Physiologie und Pathologie, den Wissenschaften von der normalen und den durch Krankheit veränderten *Körperfunktionen*, ein fester Boden zum Bau einer wissenschaftlich begründeten Lehre der Arzneiwirkungen gefunden werden: hier galt es nun, die Beeinflussung und Abänderung dieser Funktionen durch die Heilmittel zu beobachten, genau zu bestimmen und zu analysieren; und weiter nicht nur durch die „Heilmittel“ als solche — denn ob eine pharmakologische Wirkung heilsame oder schädliche Folgen nach sich zieht, hängt ganz von Umständen ab —, sondern überhaupt durch chemisch wirksame Stoffe aller Art: So entwickelte sich die Pharmakologie zur Wissenschaft von der Wechselwirkung beliebiger chemischer Agentien mit dem lebenden Körper, seinen Organen und Zellen, und von den funktionellen Folgen dieser Wechselwirkung, mögen diese Folgen nun für Heilzwecke praktisch verwertbar sein oder nicht. Es heißt also in letzter Linie die

chemische Reaktionsfähigkeit und Reaktionsart eines jeden Körperorgans und Organteiles in seiner ihm besonderen Eigentümlichkeit scharf zu erkennen, um sie dann für beabsichtigte vorausberechenbare Einwirkungen durch bestimmte Pharmaka planmäßig auszunutzen. Eine solche pharmakologische, man könnte ebensogut sagen experimentell-chemische Sichtung und Analyse des verschiedenartigen Protoplasmas der Körperorgane und Zellen kann nicht durch einfache Beobachtung symptomatischer Folgen einer Arzneibehandlung bei Mensch und Tier gewonnen, sondern nur durch planvolle pharmakologische Untersuchung aller einzelnen Körperfunktionen im zergliedernden Experiment herausgearbeitet werden.

Die Notwendigkeit solcher pharmakologischen Forschung als wissenschaftliche Grundlage für jede Arzneibehandlung war schon lange von klar denkenden Physiologen und Ärzten ausgesprochen, vereinzelte Versuche in gleicher Richtung auch schon wiederholt gemacht worden. Planvoll aber und zielbewußt hat erst *R. Buchheim* die Arbeit begonnen und mehrere Jahrzehnte hindurch unverdrossen und geduldig fortgesetzt. Er war Professor der Arzneimittellehre in Dorpat und schuf dort 1847 das erste und lange Jahre hindurch auch einzige Institut für experimentelle Pharmakologie. Seine und seiner Schüler stille und emsige Arbeit hat die Anfänge einer systematischen Grundlage der Pharmakologie festgelegt und auch zahlreiche wertvolle Bausteine geliefert — sein Hauptverdienst muß aber darin erblickt werden, daß er in seinem Schüler *O. Schmiedeberg* den hervorragenden Forschergeist früh erkannt und eifrig fördernd anerkannt hat.

*Oswald Schmiedeberg*, geboren den 11. Oktober 1838, entstammte einer kurländischen Försterfamilie, verlebte seine Schulzeit in Dorpat und widmete sich dort auch dem Studium der Medizin, das er mit seiner unter *Buchheims* Leitung ausgeführten Doktorarbeit 1866 zum Abschluß brachte. Gleich darauf stellte *Buchheim* seinen ungewöhnlich begabten Schüler als Assistenten an, habilitierte ihn auf Grund seiner hervorragenden Arbeiten bereits 1868 zum Dozenten und erwirkte, als er selber ein Jahr später einem Ruf an die Universität in Gießen folgte, daß *Schmiedeberg* zu seinem Nachfolger in der Professur für experimentelle Pharmakologie in Dorpat ernannt wurde.

*Schmiedebergs* methodische Ausbildung in Dorpat hatte vorwiegend nur eine chemische sein können, da die Voraussetzungen für tierexperimentelle Untersuchungen selbst in dem physiologischen Institut eines *Bidder* noch sehr unvollkommen waren. Mit sicherem Instinkt hatte deshalb *Schmiedeberg* gleich nach seiner Ernennung zum Professor einen Jahresurlaub genommen und zu Studien in *C. Ludwigs* physiologischer Anstalt in Leipzig benutzt. Das ward — abgesehen

von dem unmittelbar erstrebten und erreichten Zweck — für ihn von entscheidender Bedeutung, weil in der Folge er auf *Ludwigs* maßgebenden Rat im Jahre 1872 an die neugegründete Straßburger Universität berufen ward. Hier erst, im Mittelpunkt einer großen, von zahllosen jungen Gelehrten aus aller Welt besuchten, mit reichen Mitteln ausgestatteten Hochschule konnte die schaffensdurstige und in zielbewußter Klarheit und Willenskraft höchst eindrucksvolle Persönlichkeit *Schmiedebergs* zu rechter Geltung und Wirkung kommen.

Als *Schmiedeberg* 1872 sein zunächst noch bescheidenes Institut im zweiten Stock der alten École de Médecine in Straßburg einrichtete, gab es außer jenem ersten von *Buchheim* in Dorpat geschaffenen nur etwa drei oder vier, übrigens recht dürftige experimentell-pharmakologische Laboratorien im deutschen Sprachgebiet; außerhalb desselben überhaupt keines. Im Jahre 1887 bezog *Schmiedeberg* den nach seinen Angaben von Prof. *Warth* aufgeführten Prachtbau des neuen Pharmakologischen Instituts, und gegenwärtig findet sich kaum eine Universität in der Welt, an der nicht eine gut, wo nicht glänzend ausgestattete pharmakologische Lehrkanzel besteht: früher ein kaum beachtetes Nebenfach ist die Pharmakologie heute als ebenbürtige Schwester der Physiologie und der Pathologie überall anerkannt. Daß dieser Umschwung ganz wesentlich dem Wirken *Schmiedebergs* zuzuschreiben ist, mag schon allein daraus entnommen werden, daß gegen 40 von den pharmakologischen Lehrstühlen durch seine unmittelbaren Schüler, alle übrigen aber durch Gelehrte besetzt sind, die ihre methodische und kritische Erziehung wenigstens mittelbar seiner Schule verdanken.

Den verdichteten Niederschlag aus seinen und seiner Mitarbeiter in die Hunderte gehenden pharmakologischen Untersuchungen hat *Schmiedeberg* in dem 1883 zum erstenmal, seither bereits in siebenter Auflage erschienenen berühmten „Grundriß der Pharmakologie“ gesammelt und verwertet. Dies kleine, gedrängt abgefaßte Werk hat seinerzeit der gesamten experimentellen Pharmakologie und auch der Therapie die Richtung gewiesen; letzterer allerdings immer nur in Form grundsätzlicher, für den denkenden und physiologisch geschulten Arzt berechneter Regeln: denn „die Pharmakologie ist ein Wegweiser für die Therapie; welchen Weg diese aber einschlagen will, hat sie selber zu entscheiden“.

Als im Jahre 1869 *Schmiedeberg* in Dorpat Professor wurde, war fast gleichzeitig mit ihm ein anderer junger Gelehrter dorthin berufen worden, der für Jahrzehnte auf die Entwicklung der medizinisch-klinischen Wissenschaften den größten Einfluß ausüben sollte: *Bernhard Naunyn*. Die beiden bedeutenden Männer schlossen sich bald aneinander, und als in kurzer Frist *Schmiedeberg* nach *Straßburg*, *Naunyn* nach



Bern übergesiedelt waren, traten sie zu gleichgerichteter Arbeit zusammen und gründeten in Gemeinschaft mit dem Berner Pathologen Klebs das Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie. Diese im Verlag von F. C. W. Vogel in Leipzig erscheinende, nach Form und Inhalt gleich vornehm gehaltene Zeitschrift war jahrzehntelang das einzige, ist aber auch heute immer noch das bedeutendste und angesehenste pharmakologische Fachblatt, dem nur in den letzten Jahren das von Schmiedebergs Schülern Cushny und Abel herausgegebene englisch-amerikanische Journal ebenbürtig zur Seite getreten ist. Der zur Feier von Schmiedebergs siebenzigstem Geburtstag 1908 erschienene Festband enthält 59 Arbeiten seiner Schüler, davon nur weniger als die Hälfte aus Deutschland.

Schmiedebergs Bedeutung ist aber mit seinem, hier nur in groben Umrissen angedeuteten, bis in alle Länder der Welt sich auswirkenden pharmakologischen Lebenswerk keineswegs erschöpft. Ihm war die Pharmakologie nur ein besonderes, wenn schon ungemein weites und wichtiges Gebiet der Lehre von den Lebenserscheinungen überhaupt; persönlich hatten ihn von jeher biochemische Fragen, namentlich die Vorgänge des tierischen Stoffwechsels gefesselt. Seine ihm eigentümliche Begabung für chemische Vorstellungen in Verbindung mit der ausgezeichneten analytischen Schulung durch den Meister der chemischen Analyse Carl Schmidt befähigte ihn zur Bearbeitung und Lösung sehr schwieriger, grundsätzlich wichtiger Fragen der tierischen und pflanzlichen Chemie; ja sogar die Mehrzahl seiner eigenen Veröffentlichungen betrifft die Chemie der Eiweißstoffe und der Kohlenhydrate, ihre Schicksale, Spaltungen und Synthesen im Organismus, und ihnen verdanken die chemische Physiologie und Pathologie eine große Zahl grundlegender Entdeckungen.

Im übrigen war Schmiedeberg trotz seiner erstaunlichen Arbeitsleistung keineswegs ein einseitiger oder gar langweiliger Gelehrter: Fragen der Politik und Kultur haben ihn lebhaft beschäftigt, und seinen durch gründliche Studien erworbenen Ansichten pflegte er im Gespräch sehr bestimmten und lebhaften Ausdruck zu geben. Seine Liebe zur bildenden Kunst führte ihn oft zu eingehenden Studien an die Kunststätten Italiens und Spaniens, und als Dorpatenser aus der guten Zeit war er ein Kenner und Liebhaber der alten Sprachen und ihrer Literatur geblieben. Noch als Achtzigjähriger hat Schmiedeberg in den Schriften der Wissenschaftlichen Gesellschaft in Straßburg eine gelehrte und kritische, historisch und sachlich ebenso lehrreiche wie fesselnde Abhandlung über die Pharmaka in der Ilias und Odyssee veröffentlicht.

Schmiedebergs Vortrag war wie sein schreibender Stil gedrungen, von bewunderungswürdiger Urteilsschärfe und Fülle des Inhalts, in der

Regel auf allen Glanz und Schmuck verzichtend. So aber war seine ganze Persönlichkeit: durch und durch sachlich, wahrhaft und vornehm im Denken und Handeln. So auch gab sich Schmiedeberg als Lehrer im Laboratorium, und so wirkte er auf seine Schüler nicht nur als der unermüdlich arbeitende und mit wunderbarem Scharfsinn und schöpferischer Kraft reichbegabte Forscher und Lehrer, sondern, was wertvoller noch und mächtiger blieb, als das strenge und ehrfurchtgebietende Vorbild der Wahrhaftigkeit selbst und der willensstarken Gewissenhaftigkeit.

## Über die Lokalisation von Schallquellen<sup>1)</sup>.

Von H. Hecht, Kiel.

Der Ort einer Schallquelle kann dadurch bestimmt werden, daß an den beiden Endpunkten einer gemessenen Basis die Richtung des einfallenden Schallstrahles ermittelt und in bekannter Weise das aus Basis und den beiden ermittelten Richtungen bestimmte Dreieck berechnet wird. Ich will mich im folgenden auf den Fall beschränken, daß die durch die Basis und die Schallquelle festgelegte Ebene bekannt ist und im besonderen bei Messungen auf der Erdoberfläche die Horizontalebene sei.

Zur Ermittlung der Richtung eines Schallstrahles stehen an sich mehrere physikalische Methoden zur Verfügung. Es sollen im folgenden, bis auf einen Fall, alle diejenigen Methoden keine Berücksichtigung finden, die zur Bestimmung der Richtung des Schallstrahles einen Schallschatten erzeugenden Körper benutzen, sondern wir wollen uns auf diejenigen Methoden beschränken, die auf der Messung der beiden eigentlichen Komponenten eines Schallfeldes beruhen.

Ein Schallfeld setzt sich aus den beiden Größen: Geschwindigkeit des einzelnen Mediumteilchens und Schalldruck zusammen, die bei einer sinusförmigen Schwingung der Schallquelle auch sinusförmige Schwingungen ausführen. In großer Entfernung von der Schallquelle — groß im Verhältnis zur Wellenlänge des erzeugten Tones — sind Druck und Geschwindigkeit gleichphasig und ergeben in ihrem Produkt die im

<sup>1)</sup> Dieser Aufsatz bildet den Inhalt eines Vortrages in einem privaten Kreise in Kiel am 24. Juni 1921. Es ist auf Prioritätsfragen und Veröffentlichungen anderer Autoren kein Bezug genommen. Was letzteren Punkt angeht, so sei auf die Zusammenstellung der einschlägigen Literatur bei O. Klemm, „Über die Lokalisation von Schallreizen“ in dem Bericht über den 6. Kongreß für experimentelle Psychologie in Göttingen 1914 und auf die Arbeit von v. Hornbostel und Wertheimer in den Sitzungsberichten der preussischen Akademie der Wissenschaften des Jahres 1920 hingewiesen. Die angeführten Versuche und Messungen sind in dem Laboratorium und auf dem Versuchstande der Signalgesellschaft in Kiel und Plön ausgeführt. Es sind hieran außer dem Verfasser noch die Herren B. Bruhn, H. Lichte, W. Rudolph und E. Wilckens beteiligt.

Schallfeld wandernde Schalleistung. Die beiden Komponenten, Geschwindigkeit und Druck, unterscheiden sich in einem wichtigen Punkte voneinander, da die Geschwindigkeit bzw. der Ausschlag des Mediumteilchens ein Vektor ist, d. h. außer einer gegebenen Größe auch eine gegebene Richtung hat, während der Druck ein Skalar, d. h. nur der Größe nach gegeben ist. Wir unterscheiden nun zwei verschiedene Methoden der Richtungsbestimmung, je nachdem welche der beiden Komponenten wir der Beobachtung und Messung zugrunde legen.

Die erste Methode knüpft an die Messung des Ausschlages bzw. der Geschwindigkeit des Mediumteilchens an. Haben wir es, wie beispielsweise in Luft und Wasser, mit rein-longitudinalen Vorgängen zu tun, so fällt die Richtung des Ausschlages bzw. der Geschwindigkeit mit der Richtung des einfallenden Schallstrahles zusammen. Die praktische Aufgabe der Herstellung eines Empfängers, der auf die Bewegungsamplitude des betreffenden Mediums anspricht, führt dazu, eine Apparatur zu bauen, die sich wie ein ihrer Größe entsprechendes Volumenteilchen des Mediums selbst verhält und daher u. a. die gleiche mittlere Dichte wie das Medium hat. Es ist deshalb auch so nicht möglich, für Luft, deren Dichte 0,001 ist, Bewegungsempfänger aus Konstruktionsmaterialien zu bauen, deren Dichte durchweg größer als 1 ist, und meines Wissens sind auch bisher Bewegungsempfänger für Luftschall noch nicht hergestellt und benutzt worden.

Anders liegen die Verhältnisse dagegen, wenn es sich um ein Schallfeld im Wasser handelt. Hier lassen sich sehr wohl Empfänger von gleicher mittlerer Dichte, wie das Wasser, bauen und sind auch gebaut worden. Eine besondere Ausführung besteht aus einer Hohlkugel von etwa 3—4 cm Durchmesser, die mittelst mehrerer Fäden in einem schweren Ringe von etwa 10 cm Durchmesser aufgehängt ist. Die Kugel selbst ist von gleicher mittlerer Dichte wie das Wasser und hat in ihrem Innern eine Einrichtung, z. B. ein Mikrophon, welches die Schwingungsamplituden der Kugel anzeigt. Befindet sich diese Apparatur in einem Schallfelde, so daß die Achse dieses Empfängers, d. h. der Durchmesser der Kugel, der auf der Ringebene senkrecht steht, mit dem Schallstrahl zusammenfällt, so führt die Kugel die volle Amplitude des Mediums aus, so weit wie die Aufhängefäden dieses zulassen. Bildet die Achse des Empfängers dagegen einen rechten Winkel mit dem Schallstrahl, so ist die Kugel durch die Aufhängedrähte gehindert, an der Bewegungsamplitude des Mediums teilzunehmen. Der Durchmesser des ganzen Empfängers einschl. Ring ist als klein zur Wellenlänge angenommen, so daß eine Schattenwirkung nicht in Frage kommt. Solche Empfänger sind im letzten Kriege gelegentlich von den Unterseebooten angewandt worden, um eine Schallquelle akustisch anzuschneiden. Die Empfänger, die

sich im freien Wasser befanden, wurden vom Bootsinnern aus gedreht, bis man an dem Auftreten des Maximums bzw. Minimums der Intensität die Richtung des einfallenden Schallstrahls erkennen konnte. Sie nötigten in der Praxis dazu, den Druckkörper des Bootes mit Stopfbuchsen für das Drehgestell des Empfängers zu durchbrechen, und sind durch Apparaturen verdrängt worden, die auf der Messung der anderen Komponente des Schallfeldes, des Schalldrucks, beruhen und durch Kombination mehrerer solcher Empfänger gleichfalls die Richtung des einfallenden Schallstrahles erkennen lassen.

Im Gegensatz zu den eben beschriebenen Bewegungsempfängern unterscheidet sich der auf die Druckkomponente ansprechende Empfänger bezüglich seiner mittleren Dichte gegen das betreffende Medium sehr und nimmt daher an der Bewegungsamplitude des Mediums nicht teil. In der praktischen Ausführung besteht er sehr häufig aus Membranen, die in schweren Gehäusen eingespannt sind und mit einer der beiden Flächen an das betreffende Medium grenzen, während die andere Fläche durch das Gehäuse der Wirkung des Schallfeldes entzogen ist und ein Anzeigeorgan, beispielsweise ein Mikrophon betätigt. Unter der Wirkung des Schalldruckes führen solche Membranen Schwingungen aus, und ihre Bewegungsamplitude ist der Druckamplitude des Schallfeldes c. p. proportional und unabhängig von der Lage des Empfängers im Schallfelde, da wir den Empfänger als klein zur Wellenlänge annehmen wollen. Handelt es sich darum, solche Empfänger mit größter Empfindlichkeit zu bauen, d. h. die im Schallfelde zur Verfügung stehende Energie in möglichst vollkommener Weise dem eigentlichen Empfangsgliede, beispielsweise dem Mikrophon, zuzuführen, so hat ein solcher Empfänger mehrere Bedingungen zu erfüllen, von denen die beiden hauptsächlichsten sind:

1. Abstimmung des Schwingungsgebildes, in diesem Falle der Membran, auf die Frequenz des Schallfeldes und
2. Abgleichung von Strahlungsdämpfung und Nutzdämpfung der Membran.

Während die erste Bedingung allgemein bekannt und bei Schallempfängern wohl stets erfüllt ist, ist dies bezüglich der Dämpfungsbedingung nicht der Fall. Ähnlich wie ein elektrisches Element oder eine Maschine nur dann an den äußeren Schließungskreis das Maximum an Energie liefert, wenn der innere Widerstand des Elementes oder der Maschine gleich dem äußeren Widerstand des Schließungskreises ist, so nimmt auch ein Empfänger nur dann aus dem Schallfelde, das seine erregende Maschine darstellt, das Maximum an Schalleistung heraus, wenn der Strahlungswiderstand der Membran im Medium gleich dem Bremswiderstand der Membran durch das Mikrophon ist.



Für die Bestimmung der Richtung des einfallenden Schallstrahles kommen wir nun mit einem solchen Druckempfänger nicht aus, sondern wir bedürfen deren mindestens zwei, die wir in geeigneter Weise im Schallfelde anordnen müssen. Haben wir es mit einem stationären sinusförmigen Schallfelde zu tun, so kann man in leicht erkennbarer Weise die Richtung des Schallfeldes dadurch feststellen, daß man beispielsweise die Empfänger im Abstand einer halben bzw. einer ganzen Wellenlänge voneinander anordnet, und diejenige Lage aufsucht, in der durch Interferenz die größte Schwächung bzw. Verstärkung des Effektes hervorgerufen wird. Handelt es sich aber nicht um stationäre Felder bestimmter Frequenz, sondern um plötzlich entstehende und verschwindende Schallfelder, wie sie besonders bei Knallen vorliegen, so steht für die Bestimmung der Richtung, in der die Knallwelle wandert, nur die *Zeitdifferenz* zur Verfügung, mit der die Wellenstirn zwei im Medium befindliche Empfänger trifft.

Dieses Verfahren ist im verflochtenen Kriege von den Schallmeßtruppen angewandt worden, um den Ort eines feindlichen feuernden Geschützes zu bestimmen. Im Gelände wurde eine feste große Basis abgesteckt, deren Länge im Verhältnis zu der voraussichtlichen Entfernung der unbekannten Schallquelle nicht vernachlässigbar war, damit die Bestimmung nicht zu ungenau ausfiel. An jedem der beiden Endpunkte dieser Basis befindet sich ein Empfänger, der zu einer Einrichtung geführt ist, die zeitlich die Vorgänge zu registrieren gestattet. Man verwandte hierzu im allgemeinen Oszillographen mit Photographieeinrichtung. Aus dem Abstände der beiden Eindrücke auf den mit bekannter Geschwindigkeit laufenden Oszillographenfilm wurde die Zeitdifferenz ermittelt zwischen dem Eintreffen des Geschützknalles an den beiden Empfangsorten. Diese Zeitdifferenz liefert als geometrischen Ort der Schallquelle eine Hyperbel, die zu einer geraden Linie — nämlich der Hyperbelasymptote — ausartet, wenn die Entfernung der Schallquelle groß zur Meßbasis ist. Mit Hilfe eines dritten Empfängers kann eine zweite bzw. dritte Meßbasis gebildet und der Aufstellungsort des feuernden Geschützes gefunden werden.

Die Methode, aus der Zeitdifferenz zwischen dem Eintreffen des Schalles auf zwei in einem festen Abstand befindlichen Empfängern auf die Richtung zu schließen, wird auch in der Natur von Mensch und Tier angewandt, soweit sie über den normalen Gebrauch von zwei Ohren verfügen, die in unserer Bezeichnungsweise Druckempfänger sind. Wenn wir auf die exakte Beantwortung der Frage näher eingehen wollen, über welche Mittel der Mensch und das Tier verfügen, um die Richtung auszumachen, unter der eine Schallquelle gehört wird, so müssen wir wieder unterscheiden, ob es sich um ein stationäres Schallfeld bestimmter Frequenz oder um ein plötzlich entstehendes und verschwindendes Schallfeld handelt. Bei stationären Schallfeldern müssen wir des weiteren unterscheiden, ob wir es mit sehr hohen Frequenzen, d. h. sehr kurzen Wellenlängen, oder mit sehr kleinen Frequenzen, d. h. sehr großen Wellenlängen zu tun haben. Wir wollen die Betrachtung mit stationären Schallfeldern sehr kurzer Wellenlänge beginnen.

Steht beispielsweise eine Schallquelle zu einem Beobachter unter  $90^\circ$  rechts oder links von seiner Medianebene, d. h. in der Verbindungslinie der beiden Ohren auf der rechten oder auf der linken Seite und sendet diese Schallquelle in Luft Töne von der Frequenz 10 000, d. h. einer Wellenlänge von etwa 3 cm aus, so ist ersichtlich, daß das rechte und das linke Ohr von Schall sehr verschiedener Intensität getroffen wird, da der menschliche Kopf infolge seiner Größe im Verhältnis zur Wellenlänge einen Schallschatten wirft. Je mehr sich die Schallquelle aus der extremen Rechts- oder Linkslage nach der Medianebene zu bewegt, um so mehr Schallintensität erhält auch das der Schallquelle abgewandte Ohr, und es ist anzunehmen, daß wir durch Übung gelernt haben, aus diesem Intensitätsunterschiede, der bei gleicher Lage der Schallquelle abhängig von der Frequenz ist, auf die Richtung zu schließen, unter der der Schallstrahl zu uns gelangt.

Das andere Extrem der sehr großen Wellenlänge würde in Luft beispielsweise durch eine Schallquelle von der Frequenz 100, d. h. eine Wellenlänge von etwa 3 m gegeben sein. Im Verhältnis zu dieser Wellenlänge ist der Kopf sehr klein und kann infolgedessen keinen Schallschatten werfen. Ob sich die Schallquelle rechts, gerade voraus oder links befindet, immer werden beide Ohren mit der gleichen Intensität erregt werden. Durch einen Empfindungsunterschied bezüglich der Lautstärke ist also auf die Richtung des Schallfeldes nicht zu schließen. An seine Stelle tritt der *Zeitunterschied*, mit dem sich die Schallwelle über beide Ohren bewegt. Um zunächst mit möglichst einfachen Vorstellungen auszukommen, wollen wir annehmen, daß es sich nicht um ein stationäres Schallfeld, sondern um einen Knall handelt. Befindet sich die Ursprungsstelle des Knalles in der Medianebene, so wird die Wellenstirn beide Ohren zu gleicher Zeit treffen. Je mehr die Lage der Schallquelle nach rechts oder links auswandert, um so größer wird die Zeitdifferenz, mit der die Wellenstirn die beiden Ohren trifft. Diese Zeitdifferenz hat ihren Maximalwert erreicht, wenn die Schallquelle ganz rechts oder ganz links steht. Diese maximale Zeitdifferenz beträgt Abstand der beiden Ohren<sup>2)</sup> dividiert durch Fortpflanzungsge-

2) Unter Abstand der beiden Ohren ist der akustische und nicht der geometrische Abstand zu verstehen. Für eine Lage der Schallquelle in der Medianebene sind beide identisch. Für die äußerste Seitenlage wird

schwindigkeit, d. h. etwa  $21 \text{ cm} : 33\,000 \text{ cm pro Sek.}$  gleich etwa  $6 \times 10^{-4} \text{ Sek.}$  Die in der Natur vom Menschen beobachtbare Zeitdifferenz liegt also zwischen 0 und  $6 \times 10^{-4} \text{ Sek.}$ , und es läßt sich experimentell zeigen, daß Schalleindrücke auf beiden Ohren, die in solchen Zeitdifferenzen erfolgen, vom Gehirn als ein *einziges* Schallbild *wahrgenommen* werden, welches unter einer *ganz bestimmten Richtung* zum Beobachter zu stehen scheint.

Die Fähigkeit des Gehirns, aus dem zeitlichen Aufeinanderfolgen der beiden Schallreize auf die Richtung zu schließen, ist außerordentlich fein. Durch experimentelle Aufnahmen an vielen Versuchspersonen ist festgestellt, daß bereits ein Auswandern der Schallquelle *aus der Medianebene* um  $3^\circ$  wahrgenommen wird. Dieses bedeutet einen Zeitunterschied von  $6 \times 10^{-4} \text{ Sek.}$   $\times \sin 3^\circ$ , d. h.  $3 \times 10^{-5} \text{ Sek.}$  Diese *kleinste Zeitdifferenz, die vom Gehirn noch als Richtungsunterschied wahrgenommen wird*, ist konstant, *wo sich auch die Schallquelle befindet*. Sie entspricht ungefähr 1 cm Schallweg in Luft. Dieser eben noch wahrnehmbaren Zeitdifferenz von  $3 \times 10^{-5} \text{ Sek.}$  entsprechen daher verschiedene Winkel, je nachdem unter welchem Azimuth die Schallquelle steht. Befindet sich die Schallquelle in der Nähe der Medianebene, so entspricht dieser Zeitdifferenz, wie bereits gesagt, ein Winkel von etwa  $3^\circ$ . Befindet sich die Schallquelle querab, so beträgt dieser Winkel etwa  $15^\circ$ , d. h. wir können mit etwa 5mal größerer Genauigkeit die Richtung einer Schallquelle ausmachen, wenn sie in der Medianebene sich befindet, als wenn sie querab steht. (Von dieser Tatsache machen der Mensch und das Tier in der Natur Gebrauch, indem sie den Kopf nach der Richtung hin drehen, woher ihnen der Schall zu kommen scheint, und die Schallquelle gerade voraus zu nehmen suchen.)

Vergrößert man künstlich die der Querablage entsprechende größte, in der Natur wahrnehmbare Zeitdifferenz von etwa  $6 \times 10^{-4} \text{ Sek.}$ , so muß es allmählich zu einer *Trennung* der beiden Schallbilder im Gehirn kommen, und der Beobachter muß zwei getrennte Schalleindrücke wahrnehmen, die von der *Aufeinanderfolge* der beiden Eindrücke auf beiden Ohren herrühren; dies beginnt, wie wir festgestellt haben, bei etwa der doppelten Zeit, also ca.  $12 \times 10^{-4} \text{ Sek.}$

Die Fähigkeit des Menschen, durch Hören mit beiden Ohren ohne weiteres die Richtung des einfallenden Schallstrahles ausmachen zu können, ist in dem verflochtenen Kriege häufig zur Bestimmung der Richtung benutzt worden, unter der der Schall eines feuernden Geschützes zum Beobachter gelangte. Da hierfür die Genauigkeit von  $3^\circ$  noch nicht genügte, wurde die natür-

liche Basis, d. h. der Abstand der beiden menschlichen Ohren künstlich vergrößert, indem man Hörschläuche an die beiden Ohren führte und zu Trichtern leitete, die an einem drehbaren Gestell in größerem Abstande, als es den beiden Ohren entspricht, befestigt waren. In dem Maße, wie man die natürliche Basis vergrößert, erhöht man die Genauigkeit, schränkt aber natürlich den Beobachtungssektor ein. Beim Abstand der beiden Trichter von etwa 2 m, also dem 10fachen Ohrabstand, würde man bereits eine Genauigkeit in der Medianstellung von etwa  $0,3^\circ$  erreichen. Eine solche Steigerung hat aber bereits, wie die Versuche im Gelände gezeigt haben, keinen großen Wert, weil man ja stets nur die Richtung des einfallenden Schallstrahles ermitteln kann und zu falschen Aufstellungsorten der Schallquelle gelangt, wenn der Strahl inzwischen eine Krümmung durch Ungleichmäßigkeiten im Medium erreicht hat. Dieses scheint aber sehr häufig der Fall gewesen zu sein.

Die Methode der binauralen Richtungsbestimmung ist auch von der Marine zur Bestimmung von Schallquellen unter Wasser angewandt worden, insbesondere von den Unterseebooten. Um die Messungen unter Wasser ausführen zu können, wurden zwei Empfänger für Wasserschall in einem Abstand befestigt, der gleich dem natürlichen Ohrabstand multipliziert mit dem Verhältnis von Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Schall im Wasser zu Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Schall in Luft, d. h. etwa  $21 \text{ cm} \times 4,3 = \text{etwa } 90 \text{ cm}$  ist. Hierdurch hat man die gleichen zeitlichen Verhältnisse geschaffen, wie bei der Beobachtung mit dem Kopf in der freien Atmosphäre.

Die Richtungsbestimmung vermöge des Zeitunterschiedes im Eintreffen der Schallwelle auf den beiden Ohren ist bereits in einer Ebene *doppeltdeutig*, da dem gleichen Zeitunterschiede *zwei* Lagen der Schallquelle entsprechen können, und zwar außer der wahren Schallquelle noch ihr Bild, welches durch Spiegelung an der Achse der beiden Ohren entstehen würde. Es müßte also bei Beobachtung im freien Gelände auf der Erde nicht möglich sein, zu unterscheiden, ob sich eine Schallquelle in dem vorderen oder dem achtern Halbkreis befindet. Über diese Frage ist bisher wenig experimentiert worden und ich kann nur Vermutungen aussprechen, die ich zur Erklärung der Erscheinungen anführen möchte.

Tatsache ist, daß man mit freiem Ohr meistens recht gut unterscheiden kann, ob sich die Schallquelle im vorderen oder im hinteren Halbkreise befindet. Beobachtet man dagegen mit zwei Empfängern und führt diese Empfänger durch Telephone an die beiden Ohren, so wird der Beobachter fast stets die Empfindung haben, daß die Schallquelle im achtern Halbkreise, und zwar in unmittelbarer Nähe des Kopfes sich befindet. Ich möchte infolgedessen die Vermutung aussprechen, daß bei der freien Beobachtung mit



Kopf noch ein zweiter Vorgang auf das Gehör mitwirken muß, der eine Indikation dafür gibt, ob die Schallquelle sich im vorderen oder hinteren Halbkreis befindet. Dieses könnte vielleicht der Schall sein, der durch die Kopfknochen, insbesondere durch das Schläfenbein aufgenommen und zum Mittel- bzw. inneren Ohr weitergeleitet wird und besonders stark ist, wenn die Schallquelle im vorderen Halbkreis liegt. Wenn also auf die beiden Ohren Schalleindrücke mit bestimmter Zeitdifferenz gegeben werden und wenn gleichzeitig noch Schall auf bestimmte Kopfparten wirkt, so wird aus der Zeitdifferenz auf die Richtung und aus der Tatsache des Kopfschalles auf den vorderen Halbkreis geschlossen. Fällt dieser Kopfschall fort, d. h. liegt die Schallquelle in der Natur achtern, so entscheiden wir uns automatisch für den achtern Halbkreis. Dieser Annahme würde die Beobachtung gut entsprechen, daß bei Empfang mit künstlichen Empfängern, bei denen kein Kopfschall auftritt, fast stets der Eindruck vorherrscht, als ob die Schallquelle achtern stünde. Es würde von sehr großem Interesse sein, hierüber weitere Experimente anzustellen.

Ich kehre nun zu dem stationären Schallfeld sehr tiefer Frequenz, d. h. sehr großer Wellenlänge in seiner Wirkung auf den natürlichen Empfang durch die beiden Ohren zurück. Die beiden Ohren werden mit gleicher Intensität getroffen, und für die Wertung der Richtung kann nur der *Zeitunterschied* der beiden Erregungen in Frage kommen. Wenn ein sinusförmiges Schallfeld entsteht, könnten wir auch noch von einer solchen *Zeitdifferenz* des Eintreffens der Wellenstirn sprechen. Befindet sich aber der Kopf des Beobachters in einem stationären Schallfeld großer Wellenlänge, so tritt bis zu gewissem Grade an die Stelle dieses Zeitunterschiedes der *Phasenunterschied* beider Erregungen.

Wir haben bei unseren Experimenten die Versuchsbedingungen verschiedentlich abgeändert, um Täuschungen durch besondere Eigentümlichkeiten der betreffenden Apparaturen auszuschließen. (1) Einmal wurden an jedes Ohr des Beobachters Telephone gelegt, die mit Strömen gleicher Intensität, aber wechselnder Phase erregt wurden. Der Phasenwinkel konnte direkt an einem Oszillographen beobachtet werden, der subjektive Winkel, unter dem der Schallreiz zu stehen schien, wurde vom Beobachter geschätzt. (2) Des weiteren wurden im Wasser als Schallmedium von einer entfernten Schallquelle aus zwei Mikrophone erregt, die an einer Drehbasis befestigt waren und von denen je ein Telefon zu je einem Ohr des Beobachters führte. Hierbei konnte der subjektive Richtungseindruck bei verschiedener Lage der Schallquelle durch Nachdrehen der Basis in die Medianebene zurückgeführt werden. (3) Bei einer dritten Beobachtungsreihe blieb in der soeben geschilderten Anordnung die Empfän-

gerbasis fest unter den verschiedenen objektiven Winkeln zur Schallquelle stehen und der subjektive Winkel wurde durch eine besondere Vorrichtung auf Null, d. h. der Richtungseindruck in die Medianebene zurückgeführt. Man schaltete zu diesem Zweck zwischen die Ohren des Beobachters und die Telephone verschiedenen lange Luftwegstrecken, die ein Maß für den subjektiven Winkel bildeten.

Aus den Beobachtungsergebnissen dieser verschiedenen Methoden folgt, daß bei stationärem Schall tiefer Frequenz in ähnlicher Weise wie beim reinen Knallvorgang auf die Richtung der Schallquelle geschlossen wird, und daß die der Phasendifferenz entsprechende Zeitdifferenz für den Richtungseindruck bis zu gewissem Grade bestimmend ist. Es war zu vermuten, daß sie allein nicht entscheidend sein könnte, da beobachtet war, daß einer Phasendifferenz von  $180^\circ$  stets ein Richtungseindruck *in der Medianebene* entspricht, und da ferner angenommen werden mußte, daß bei Erreichen der größten, für den Menschen in der Natur vorkommenden Zeitdifferenz von  $6 \times 10^{-4}$  Sek. unabhängig von der Frequenz stets ähnliche Effekte in der Richtungsempfindung sich zeigen würden. Diese Vermutung ist durch die Beobachtungen weitgehendst bestätigt worden, und es ergibt sich aus den Messungen und Beobachtungen das Folgende.

Wählen wir die Frequenz so, daß die charakteristische Zeitdifferenz von  $6 \times 10^{-4}$  Sek. einem Phasenwinkel von  $90^\circ$  entspricht, so erhalten wir die Frequenz von etwa 400. Die Versuche und Beobachtungen nach den verschiedenen vorhin kurz beschriebenen Methoden mit Tönen dieser Frequenz ergeben alle übereinstimmend das folgende Bild:

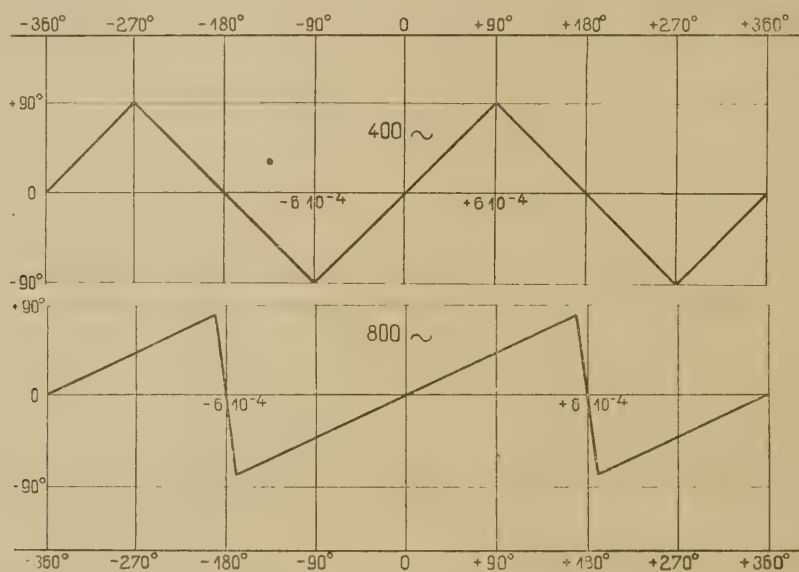
Der Phasendifferenz Null entspricht eine scheinbare Lage der Schallquelle *in der Medianebene*, während bei Vergrößerung bzw. Verkleinerung der Phasendifferenz bis zu  $90^\circ$  die Schallquelle *ganz gleichmäßig* nach rechts bzw. links auszuwandern scheint, um bei  $90^\circ$  Phasendifferenz die Grenzlage zu erreichen. Vergrößert man nun die Phasendifferenz noch weiter von  $90$  bis  $180^\circ$ , so wandert, genau wie auf dem Hinwege, die Schallquelle *gleichmäßig* von der Extremlage *nach der Medianebene* zurück. In der oberen Kurve der Figur (S. 112) ist dies Verhalten graphisch zur Anschauung gebracht. Die Abszisse stellt die Phasendifferenz der Erregung beider Ohren, die Ordinate den subjektiven Winkel dar, unter dem die Schallquelle zur Medianebene zu stehen scheint.

Wählt man die Frequenz dagegen so, daß die natürliche größte Zeitdifferenz von  $6 \times 10^{-4}$  Sek. einem Phasenwinkel von  $180^\circ$  entspricht, d. h. macht man das Experiment mit Frequenzen von 800 Perioden, so ergibt sich folgendes Bild:

Bei der Phasendifferenz Null beobachtet man wieder Lage *in der Medianebene*. Bei Zunahme des Phasenwinkels nach der einen oder anderen

Seite wandert die Schallquelle wieder nach rechts bzw. nach links aus. Da wir jetzt erst bei  $180^\circ$  Phasendifferenz die maximale Zeitdifferenz von  $6 \times 10^{-4}$  Sek. erreichen, so findet dies Auswandern bis kurz vor  $180^\circ$  Phasendifferenz statt, sagen wir beispielsweise bis  $170^\circ$ . Befinden wir uns auf der Seite der Rechtsdrehung, so haben wir bei  $170^\circ$  Phasendifferenz nahezu vollkommene Rechtslage erhalten. Bei Vergrößerung von  $170^\circ$  nach  $180^\circ$  kehrt plötzlich und sprunghaft die Schallquelle in die Medianebene zurück. Verfolgt man den Vorgang weiter über  $180^\circ$  hinaus, so findet man ein entsprechendes Verhalten auf der anderen Ohrseite, d. h. bei Ver-

sowohl die auf Zeitunterschied wie die auf Intensitätsunterschied beruhende, haben ihre Reizschwelle. Die erstere beträgt, wie bereits gesagt, etwa  $3 \times 10^{-5}$  Sek., d. h. für Lage in der Nähe der Medianebene etwa  $3^\circ$  Fehlergrenze. Die Reizschwelle für den Intensitätsunterschied ist höchstwahrscheinlich von der Frequenz abhängig; wir haben hierüber keine ausgedehnten Versuche angestellt, auch sind mir aus der Literatur zuverlässige Messungen nicht bekannt. Für etwa 1000 Perioden haben wir gefunden, daß zwei Schallquellen als von verschiedener Intensität empfunden werden, wenn der Unterschied mindestens etwa 10 % beträgt.



Zur Ermittlung des Ortes einer Schallquelle.

Abszisse: Phasenunterschied in der Erregung der beiden Ohren.

Ordinate: Der Winkel, unter dem dem Hörer die Schallrichtung zur Medianebene zu stehen scheint.

Die obere Kurve gehört zu einem Tone von 400, die untere zu einem von 800 Perioden.

schiebungen in der Nähe von  $180^\circ$  Phasenunterschied *springt* die Schallquelle *ganz plötzlich* von extrem rechts nach extrem links und umgekehrt, ohne daß es im allgemeinen gelingt, den Durchgang durch 0 zu beobachten (siehe untere Kurve der Figur).

Mit diesen Frequenzen von etwa 800 Schwingungen sind wir aber bereits in ein Gebiet gekommen, welches zwischen den beiden extremen Werten der sehr hohen und der sehr tiefen Frequenzen liegt, bei denen wir, wie ich bereits ausführte, entweder nur nach Intensitätsunterschied oder nur nach Zeitunterschied auf die Richtung schließen. Diese beiden Gebiete müssen allmählich und stetig ineinander übergehen, und der Punkt, an dem sich die beiden Kurven gewissermaßen durchschneiden, muß durch diejenige Frequenz gegeben sein, bei der der menschliche Kopf ein nennenswertes Hindernis für die betreffende Schallwelle darstellt, d. h. wenn er etwa eine halbe Wellenlänge groß ist. Dieses ist aber gerade bei 800 Perioden der Fall. Beide Methoden,

Es war nun zu vermuten, daß in dem Frequenzgebiet, in dem die Zeitdifferenz- und Intensitätsdifferenzschätzung sich begegnen, Unterschiede im Betrage der Reizschwellen gleiche Effekte in der scheinbaren Lage der Schallquelle hervorrufen mußten. Wir haben hierüber einige Experimente angestellt und die Vermutung bestätigt gefunden. Wenn wir die beiden menschlichen Ohren mit Tönen von etwa 1000 Perioden pro Sekunde und gleicher Phase und Intensität erregten, so erhielten wir die scheinbare Lage der Schallquelle in der Medianebene. Gab man dagegen den beiden Tönen eine Phasendifferenz entsprechend  $3 \times 10^{-5}$  Sek., so schätzten wir eine Abweichung der Schallquelle von  $\pm 3^\circ$  von der Medianebene. Die gleiche Abweichung von  $\pm 3^\circ$  erhielten wir aber auch bei Zeitdifferenz 0 und Intensitätsdifferenz von  $\pm 10\%$ .

Während diese Versuche sich auf Dauertöne beziehen, ist das Beobachtungsergebnis nicht so klar und eindeutig, wenn es sich um Morsetöne handelt. Bei diesen können Richtungseindrücke,



die vom Zeitunterschied des Einsatzes herrühren, neben solchen auftreten, die von der Phasen-Zeit-Differenz stammen. Für die ersteren wird vermutlich eine geringere Intensitätsempfindlichkeit vorhanden sein als für die letzteren.

Es wäre sehr erwünscht, wenn unsere Versuche von anderer Seite wiederholt, erweitert und ihre Resultate bestätigt werden könnten. Desgleichen wäre die Frage der Halbkreisbestimmung durch evtl. Mitwirkung eines nicht durch den normalen Weg zum inneren Ohr gelangenden Schalles und die Frage der Reizschwelle für Intensitätsunterschiede abhängig von der Frequenz eingehender zu prüfen.

Auf dem Gebiete der Lokalisation von Schallquellen ist bereits eine sehr ausgedehnte Literatur<sup>3)</sup> entstanden. Ich habe aber nicht den Eindruck, daß außer einer sehr fleißigen Zusammenstellung von allem möglichen Beobachtungsmaterial viel Grundsätzliches geleistet worden ist. Ich würde mich freuen, durch meine Ausführungen Anregung zum Arbeiten und Erforschen der grundlegenden Gesetze gegeben zu haben, deren Kenntnis sowohl für den Physiologen und Physiker, wie auch für den praktischen Ingenieur von großer Bedeutung sind.

## Die Entstehung des Torfes und der Kohle.

Von Hans Höfer v. Heimhalt, Wien.

Zweifelsohne hat die Studie von F. Fischer und H. Schrader: „Entstehung und chemische Struktur der Kohle“<sup>4)</sup> außerordentlich anregend gewirkt, wie dies auch aus den darauf erfolgten Widersprüchen geschlossen werden kann. Bezüglich des Ursprungsmaterials der Kohle bildeten sich zwei Lager: „Die Zellulose“ — „Die Lignin“, während eine kleine Gruppe, zu der J. Marcusson gehört, Kohle aus Zellulose und Lignin ableitet; ja selbst die eingangs genannten Schöpfer der Ligninhypothese, welche die Zellulose schon zu Beginn der Verwandlung der Holzsubstanz verschwinden, d. h. in  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  und einige im Grundwasser lösliche Säuren verwandeln lassen, geben schließlich (S. 31) zu: „Jede Mitbeteiligung der Zellulose an der Kohlebildung wollen und können wir nicht bestreiten. Auf keinen Fall aber spielt sie die ausschlaggebende Rolle, die man ihr bisher zugeschrieben hat.“ Viel allgemeiner folgerte schon viel früher Ber-gius aus seinen klassischen Versuchen: „Die Ähnlichkeit der Zellulosekohle mit der aus Torf hergestellten ist ein Beweis dafür, daß das Ausgangsmaterial, solange es nur pflanzlichen Ur-

sprungs ist, keinen wesentlichen Einfluß auf die entstandenen Kohlen gehabt hat.“

Ich sprach mich im Briefwechsel mit Kohlenchemikern sofort nach dem Erscheinen der Studie Fischer-Schraders für den Dualismus aus; es drängt mich die Frage der Entstehung der Kohlen als Geologe zu besprechen, um so mehr, da unsere Lehrbücher der allgemeinen Geologie sich meist begnügen, im Kohlebildungsprozeß nur einen Abbau von O, H und N bei relativer Anreicherung des C zu sehen, also das Sinnfällige der Analysen. Die jüngsten Spezialwerke über „Kohle“ kommen über Definitionen einiger Begriffe und Versuche nicht hinaus.

Die Pflanze besteht, abgesehen vom Wasser, zum größeren Teil aus Zellulose, ferner aus Lignin<sup>5)</sup>, untergeordnet aus Harzen, Wachs und Fetten. Der Reichtum an Zellulose verleitet zu dem Schluß, daß sie hauptsächlich das Urmaterial der Humuskohle ist, deren vegetabilischer Ursprung, und zwar zumeist aus einer Sumpflvegetation, heute keinem ernsthaften Widerspruch begegnen dürfte.

Die Verrottung ist als Zersetzungsprozeß das Mittelglied zwischen Vermoderung und Fäulnis, wobei zuerst die Vermoderung bei ungenügendem Luftzutritt, dann die Fäulnis im Wasser bei vollständigem Sauerstoffabschluß eintritt. Bei Vermoderung (Holzzerfall) ergibt sich aus den Versuchszahlen von Rose und Lisse<sup>6)</sup> das Bild Fig. 1. Der Gehalt an Zellulose verarmt sehr rasch, während jener der alkalilöslichen Huminsäuren fast im gleichen Maße ansteigt, ein Beweis dafür, daß diese aus jener gebildet wurden. Die Huminsäuren töteten die Bakterien<sup>5)</sup>, deren Tätigkeit von manchen Forschern somit ganz bedeutend überschätzt wurde. Im Torf ist die Pflanzenstruktur lange erhalten, es kann also die Zellulose durch Bakterien nicht so rasch und vollständig gelöst werden, wie dies Fischer-Schrader voraussetzen. Die Methoxygruppe ( $\text{OCH}_3$ ), welche das Lignin kennzeichnet, hat sich verdoppelt, kann also nicht die Huminsäuren geliefert haben, da sie in diesem Falle mehr oder weniger abgebaut worden wäre; ist der Methoxylgehalt des Holzlignins 15 %, so ist der Ligningehalt im ganz vermoderten Holz auf 30 % gestiegen. Das Lignin ist also gegen Vermoderung ganz bedeutend widerstandsfähiger als die Zellulose. Nach dieser 1., der Zellulosephase (Vermoderung) mit reicher Huminsäurebildung

<sup>3)</sup> Die chemische Struktur der Lignine, eines Kolloides, ist noch fraglich, ob aliphatisch oder aromatisch; E. Bakmann u. O. Liesche unterscheiden  $\alpha$ -Lignin ( $\text{C}_{22}\text{H}_{22}\text{O}_7 = 405$ ) und  $\beta$ -Lignin ( $\text{C}_{18}\text{H}_{18}\text{O}_6 = 390$ ).

<sup>4)</sup> Journ. of Ind. and Engg. Chemistry 9, 284, 1917, durch Fischer-Schrader. — Die Zahlen zu den 3 Diagrammen s. F. Fischer, Die Naturwissenschaften, Heft 47, 1921.

<sup>5)</sup> Die Mitwirkung der Bakterien beim Kohlungsprozeß bezweifle ich aus denselben Gründen wie Dannenberg, Geologie der Steinkohlenlager I, S. 11.

<sup>3)</sup> Siehe Anmerkung 1 auf Seite 107.

<sup>4)</sup> Brennstoff-Chemie, 2. Bd., 1921, Verlag W. Giradet in Essen. — F. Fischer: Die Naturwissenschaften, Heft 47, 1921.

<sup>5)</sup> Die Anwendung hoher Drucke bei chemischen Vorgängen und eine Nachbildung des Entstehungsprozesses der Steinkohle, S. 50, Halle 1913.

tritt eine 2. Phase der Vertorfung ein, in welcher das Lignin und die Huminsäuren nebst Bitumen fast ausschließlich der Gegenstand der Metamorphose sind, da der kleine Zelluloserest — etwa  $\frac{1}{7}$  des ursprünglichen Gewichts — sich voraussichtlich rasch in Huminsäure verwandeln wird.

Friedrich<sup>6)</sup> untersuchte, bei F. Fischer den Velener Torf in verschiedenen Stadien bzw. Tiefen von 0,0, 0,9 und 1,8 m, welche Zahlen in Fig. 2 zeichnerisch dargestellt sind; auch hier entspricht dem Fortschreiten der Vermoderung ein Ansteigen der Humussäuren, und es darf aus Analogie mit Fig. 1 ein Zerfall der Zellulose vorausgesetzt werden. Der geringe Gehalt an Methoxyl scheint darauf zu verweisen, daß der Torf reich an Sphagnum ist, welches

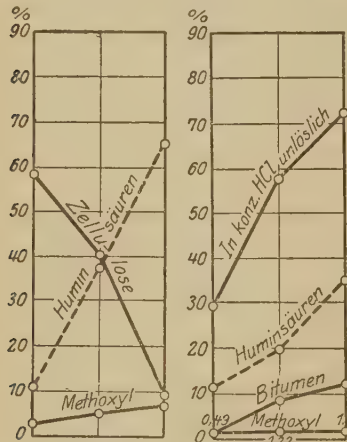


Fig. 1.

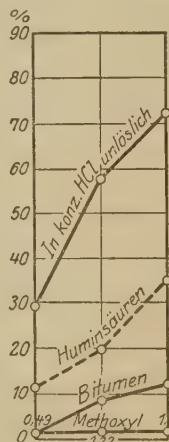


Fig. 2.

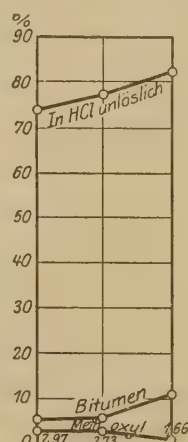


Fig. 3.

Vermoderung und Vertorfung.

fast frei von Methoxyl ist. Der Gehalt an diesem bzw. an Lignin hat in 1,8 m Tiefe ebenso wie jener an Huminsäure um das 3,4fache zugenommen.

Die beiden Fig. 1 und 2 zeigen manche Ähnlichkeiten; da wie dort ist die fortschreitende Umwandlung durch ein stetiges Steigen der Huminsäuren und der Methoxylgruppe gekennzeichnet. Doch ist auffallenderweise der Gehalt an Huminsäure nicht auch beiderseits gleich, bei der Vermoderung 38,3 %, bei der Vertorfung nur 20 %. Von 0,9 m Tiefe steigt der Huminsäuregehalt im gleichen Maße wie er in der oberen Partie fortschreitet. Das untersuchte Velener Torflager ist bis 1,8 m Tiefe in der Zellulosephase, wobei der Gehalt an in konzentrierter HCl unlöslicher Substanz rasch zunimmt.

Friedrich<sup>6)</sup> untersuchte auch den älteren, schwarzen Torf von Lauchhammer (Provinz Sachsen) (Fig. 3). Der Gehalt an Methoxyl, also auch an Lignin, nimmt mit der Tiefe ab, ist in 3 m 2,97, in 4 m 2,73, in 5 m nur 1,66 %; innerhalb dieser Phase der Vertorfung setzt der Abbau des Lignins entschieden ein; die Ligninphase (Vertorfen) hat begonnen. Leider gibt

<sup>6)</sup> Durch Fischer-Schrader, Die Entstehung usw. S. 21.

Friedrich die Gehalte an Huminsäuren<sup>7)</sup> nicht an; jener an Bitumen steigt von 5,3 über 6,3 auf 12,2 %. Das Bitumen, im siedenden Benzol vollständig löslich, ist also im Torfprozeß der resistanteste Bestandteil; es rührt vorwiegend von tierischen Resten, z. T. auch von dem Wachs und den Eiweißkörpern der Pflanzen her. Harzreiches Holz, z. B. Nadelholz, ist wegen des Harzgehaltes in der Vertorfung widerstandsfähiger als anderes. Aus den mitgeteilten Zahlen des Bitumengehaltes errechnet sich der Gewichtsverlust von der Tiefe 3 bis zu 5 mit 42,5 %, falls der Bitumengehalt in beiden Tiefen ursprünglich gleich groß war.

Der Vertorfungs- oder Humifizierungsprozeß ist als eine langsam verlaufende Anhydridisierung unter teilweiser Oxydation aufzufassen (Gr. Odén).

Die Huminsäuren, mehr aus Zellulose als aus Lignin entstanden, geben der Restmasse die braune Farbe; sie haben sich stetig angereichert, und eine warme Sodalösung wird deshalb intensiv braun gefärbt, um so weniger, je weiter die Verwandlung, d. i. nun der Kohlungsprozeß, vorgeschritten ist. Der Torf büßt bei weiter fortschreitender Umwandlung seine Struktur immer mehr ein und geht in das Braunkohlestadium über, innerhalb welchem sich der Rest der Huminsäuren durch Oxydation und Wasseraustritt in das in Alkalien unlösliche Humin, nun der wesentliche Teil der Kohle, allmählich verwandelt; auch der Ligninrest wird ganz abgebaut. Das Humin wird schon in diesem Stadium durch Oxydation, dem Kohlungsprozeß, teilweise umgewandelt, karbonisiert. Sind diese Prozesse beendet, so ist die Braunkohle in das Schwarzkohlestadium eingetreten, die Umwandlung des zerstörten Humins setzt sich fort, die Alkalilösung wird nicht mehr braun gefärbt, und die Reaktion auf Lignin bzw. Methoxyl versagt. In Verlauf dieses Stadiums verliert die Kohle ihren H- und O-Gehalt allmählich fast ganz und der Kohlenstoff hat sich im Anthrazit auf etwa 95 % angereichert. Scheiden die beiden früher genannten Elemente aus, so entsteht der Graphit.

Wie bei diesem Umwandlungsprozeß aus dem ursprünglich nicht aromatischen Material auch Stoffe mit aromatischen Eigenschaften entstehen konnten, ist bisher fraglich.

Die Braunkohle besteht aus Wasser, Bitumen, Huminsäuren, aus organischen in gewöhnlichen Lösungsmitteln unlöslichen Substanzen, die m. E. vorwiegend Humin sein dürften (Restkohle), und Asche. Deutsche Schwefelkohle enthält nach E. Erdmann<sup>8)</sup> (asche- und wasserfrei berechnet) 18,1 % Bitumen, 43,3 % Huminsäuren und 38,36 % Restkohle.

Bei dem besprochenen Umwandlungsprozeß

<sup>7)</sup> Der Gehalt an Huminsäuren im Specktorf wird von anderer Seite mit 40–50 % des Trockengewichtes angegeben, wahrscheinlich hat sich ein Teil der Huminsäuren durch Oxydation in Humin umgesetzt.

<sup>8)</sup> Kroy-Festschrift S. 309.



der Holzsubstanz bis zur Schwarzkohle entwickelte sich *Wärme*; wie groß dieselbe im Torfstadium (Zellulose- und Ligninphase) ist, darüber liegen mir keine Beobachtungen vor. Aus den Hunderten genauer Messungen in den altösterreichischen Braunkohleflözen<sup>9)</sup> ermittelte ich für die Kohlunswärme, d. i. der Wärmeüberschuß des Flözes gegenüber der seiner Tiefenlage entsprechenden Erdwärme, in NW-Böhmen für das westliche Revier mit bis 11,34° C, im Ostrevier (Brüx-Teplitz) mit 16,35° C. Die durch den Kohlungsprozeß entstandene Kohlunswärme nimmt mit der Tiefe, also auch mit der Flözwärme zu, u. zw. im Westrevier für je 100 m Tiefe um 5,61°, im Ostrevier um 1,28 bis 19,8° C. Im Schwarzkohlestadium pflegen die jüngsten oberkarbonen Flöze des Ostrau-Krakauer Steinkohlengebiets noch hier und da etwas Kohlunswärme zu besitzen, bei den tieferen jedoch scheint die Kohlun fast still zu stehen oder die erzeugte Wärme ist so gering, daß infolge der sie begleitenden stetigen Ableitung ins Nebengestein nicht nachgewiesen werden kann. Für ungewöhnlich hohe Temperatur in der Gegenwart konnte ich in den österreichischen Kohlenbecken keine Beweise finden.

Verschiedene Geologen und Chemiker, von A. Petzholdt bis E. Donath, nehmen an, daß die Kohle bei ihrer Entwicklung einen flüssigen und breiigen Zustand durchlaufen habe. Im Kohlestadium halte ich dies für ausgeschlossen, doch im Torfstadium für leicht möglich.

Daß bei dem Torfkohlungsprozeß der Kohlenstoff sich durch allmähliches Ausscheiden von Wasser-, Sauer- und Stickstoff relativ anreichert, ist allbekannt; dabei entwickelt sich CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub>. Das CO<sub>2</sub> ist die Folge der dunklen Verbrennung des C in dem O der Kohle, welche die Kohlunswärme bedingt und die Kohlun beschleunigt. Der Verbrauch an O ist im Braunkohlestadium größer, wie dies die Analysen lehren, weshalb auch die Kohlunswärme größer als in der Schwarzkohle ist. Bergius<sup>10)</sup> sagt auf Grund seiner fundamentalen Versuche, „daß der Verkohlunsvorgang, d. h. der Zellulosezerfall, ein Wärme liefernder Prozeß ist. Seine Wärmetönung ist sogar sehr groß. Sie beträgt ungefähr 70 000 Cal. pro Mol“. Das CO<sub>2</sub> wird z. T. zur Zersetzung der unorganischen Bestandteile (Asche), und zwar nicht bloß der Karbonate, sondern auch der Silikate, verwendet, die z. T. als wasserlösliche Bikarbonate entführt werden, woraus auch erklärlich ist, daß der Aschegehalt mit dem Fortschreiten der Kohlun nicht steigt.

Das CH<sub>4</sub> kann auch dem Bitumen entstam-

men, welches, wie erwähnt, der Zersetzung am längsten widersteht und deshalb erst gegen Ende des Braunkohlestadiums und im Schwarzkohlestadium häufiger und reichlicher auftritt.

Es erübrigt noch jene Faktoren kennen zu lernen, welche den Torfkohlungsprozeß beschleunigten. Hier ist zuerst der *Druck*, der ja auch Wärme erzeugt, hervorzuheben. Es ist hier nicht so sehr der statische Druck des Hangenden als vielmehr der dynamische Druck der Dislokationen, besonders der Faltung maßgebend. Das letztere habe ich bereits in meiner Arbeit: „Die geothermischen Verhältnisse der Kohlenbecken Österreichs“ an geradezu schlagenden Beispielen aus Pennsylvanien (Karbon), aus verschiedenen Gebieten Steiermarks (Tertiär), aus Kreidekohlen Deutschlands und Österreichs nachgewiesen. Hier kann auch die Verkohlun der Holzpiloten der Breisacher Rheinbrücke durch Stauchung erwähnt werden. Daß Wärme den Kohlungsprozeß befördert, ist allgemein bekannt, und zwar ist es 1. die Erdwärme, welche in dem Maße steigt, wie das Flöz in größere Tiefe sinkt, 2. die Kohlunswärme, welche sich während des Kohlungsprozesses entwickelt, 3. die dynamische Wärme, die während der dynamischen Veränderungen des Flözes frei wird — Arbeit setzt sich in Wärme um. Zu diesen regionalen Wärmequellen kann 4. eine lokale treten, z. B. die Eruption von Gesteinen. Der statische Druck des Hangenden ist von geringem Einfluß.

Die Wirkung der Zeit an und für sich wird als geologische Potenz oft überschätzt; sie kann nicht abgestritten werden, da eingeleitete endogene chemische Prozesse länger Gelegenheit zum „Ausleben“ haben; doch darf dabei nicht übersehen werden, daß ein Flöz, je älter es wird, meist mehr Episoden durch Druck und Wärme erlebte und deshalb stärker umgewandelt wurde. Ein krasses Beispiel von dem geringen Einfluß der Zeit ist das Kohlevorkommen im Unterkarbon (zwischen Devon und Bergkalk), also geologisch uralten, im Moskauer Becken<sup>11)</sup>, welches Braunkohle führt, der man sonst gewöhnlich nur in der jungen Tertiärformation begegnet. Die Flöze liegen fast wagerecht, das Hangende ist in der Yassenkigrube 60 m mächtig, der statische Druck scheint hier für den Kohlungsprozeß unbedeutend zu sein. Ich gebe drei Analysen dieser Kohle (wasser- und aschefrei berechnet) mit dem mindesten, mittleren und höchsten C-Gehalt, woraus hervorgeht, daß diese unterkarbone Kohle auch chemisch tatsächlich eine echte Braunkohle ist, worauf besonders auch der hohe Gehalt an O + N verweist, die dunkle Verbrennung ist also relativ wenig fortgeschritten. Ja, die erste Analyse entspricht dem Lignit und steht dem Torf näher als einer durchschnittlichen Braunkohle. Der Kohlungsprozeß ist also örtlich ver-

<sup>9)</sup> H. v. Höfer, Die geothermischen Verhältnisse der Kohlenbecken Österreichs, Berg- u. Hüttenm. Jahrbuch, Wien 1917.

<sup>10)</sup> Die Anwendung hoher Drucke bei chemischen Vorgängen und eine Nachbildung des Entstehungsprozesses der Steinkohle. S. 44, Halle a. S. 1913.

<sup>11)</sup> M. Prigorowski, The coal resources of the world 3. Bd., S. 1164.

schieden weit vorgeschritten, die Ursachen kann ich aus den mir zugänglichen Veröffentlichungen nicht ermitteln, vielleicht liegt sie in den Mächtigkeiten des Deckgebirges.

| Nr. | C     | H    | O + N |
|-----|-------|------|-------|
|     | %     |      |       |
| 1   | 62,63 | 6,62 | 30,75 |
| 2   | 72,59 | 5,48 | 21,93 |
| 3   | 76,56 | 8,75 | 14,69 |

Das ausgedehnte Moskauer Kohlenvorkommen verdient eine eingehende Untersuchung durch einen modernen Kohlengeologen.

Die *chemische Struktur der Kohle* ist ausschließlich Sache der Chemiker; es stehen sich jetzt zwei Anschauungen gegenüber. Nach *Marcusson* u. a. enthält Huminsäure (sowie die aus ihr entstehende Braun- und Schwarzkohle) einen polymerisierten peri-Difuranring, ihr saurer Charakter ist auf Carboxylgruppen zurückzuführen. *Fischer* und *Schrader* behaupten dagegen, natürliche Huminsäure habe aromatische Struktur, zeige phenolartigen Charakter und enthalte keinen Furanring, da sie die Huminsäure vom Lignin ableiten.

### Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

#### Bemerkungen zu Koffkas Referat über W. Köhlers Arbeit: Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand.

Die von *Koffka* in Heft 21 des 9. Jahrgangs dieser Zeitschrift zustimmend besprochene, im Titel zitierte Arbeit *Köhlers* bringt neben der Beurteilung physikalischer Zustände, auf die ich nicht eingehen will, Anschauungen über Psychologisches, die nicht unwidersprochen bleiben dürfen. Nur in aller Kürze kann ich mich dazu äußern.

*Köhler* schließt sich an *Chr. v. Ehrenfels* und *Wertheimer* an, welche in den phänomenalen Gestalten, in einer Melodie z. B., nicht bloß die summative Umgrenzung von Sinnesindrücken, bei der Melodie von Tönen, erblicken, sondern besondere durch Ganzheit ausgezeichnete Gestaltqualitäten. Nach *v. Ehrenfels* handelt es sich dabei, im alten Sinne, um selbständige Leistungen des Nervensystems, *Wertheimer* aber ordnet die Gestalt direkt der Empfindung zu und *Köhler* tut nicht nur desgleichen, sondern findet sogar am Anorganen ganz entsprechende Erscheinungen, z. B. Eigenstrukturen elektrischer Leiter, die sich den lokalen Ladungsbeträgen als etwas Ganzes, Gestaltartiges, zugesellen sollen. Diesen Vergleich will ich hier nicht diskutieren, da ich kein Physiker bin, wogegen ich aber Stellung nehmen muß, ist die innige Zuordnung der Gestaltbildung, sagen wir: der Wahrnehmung, zur Empfindung.

Zunächst ein Wort zur Neuronentheorie, die von *Köhler-Koffka* abgelehnt wird. Ohne sie bleibt uns der psychophysische Tatbestand unverständlich. Nur die Annahme selbständiger, mit spezifischen Energien ausgestatteter Neurone garantiert die Selbständigkeit eines beharrenden Empfindungsmosaiks, wie es im Rahmen jeder Wahrnehmung gegeben ist und in den

Erinnerungen unbegrenzt weiter lebt. Wären die Einzeleindrücke nicht in bestimmten Bahnen (Neurofibrillen) sozusagen gefangen, so gäbe es im optischen Sektor nur einen diffusen Erregungsbrei, in dem wohl allerhand „Eigenstrukturen“ auftreten könnten, aber sicher keine phänomenalen Gestalten.

Und für die Wahrnehmung selbst bedarf es besonderer Neurone. Die moderne Tierpsychologie, die weder *Köhler* noch *Koffka* würdigen, hat mit Evidenz dargetan, daß im Nervensystem die Form als Anlage parat liegt und sich nur mit jenen Reizkombinationen (Empfindungen) verbindet, welche ihr gestaltlich entsprechen. Das ist die Lehre von der Gegenwelt, welche *v. Uexküll* und *zur Straßen* rein physiologisch, ich psychophysisch, ausgebaut haben. Nach ihr reagieren die Tiere nur dann auf Eindrücke, wenn sie diese mit angeborenen Konfigurationen, bzw. Gestaltdispositionen, im Nervensystem zur Deckung zu bringen vermögen. Dafür gibt es bereits eine Menge Beweise, über die — noch unvollständig — mein 1912 erschienenes tierpsychologisches Praktikum orientiert; aus ihnen folgt aber die Selbständigkeit der Formprozesse von selbst.

Aber noch weitere Beweise gibt es für diese Selbständigkeit. Auch bei uns Menschen erweist sich häufig genug die räumliche Wahrnehmung als ein von den Reizperzeptionen deutlich geschiedener Akt. Wir sind zweifellos gestaltlich viel reicher veranlagt als die Tiere, aber gar oft gleichen wir doch zuerst sehr der photographischen Platte, die nichts als ein Fleckenmosaik rezipiert, und erst in oft lange andauernder Arbeit vermögen wir dieses gestaltlich zu durchgliedern. Ich erinnere hier an das Studium mikroskopischer Bilder, aber auch in der Natur passiert es uns oft genug, daß wir, vor allem in Hinsicht auf die Raumentiefe, mühsam Formverständnis uns erringen. Bei alledem tun wir im besonderen Falle nur das, was ganz allgemein das Kind in jahrelanger Entwicklungsarbeit, der sehend gewordene Blindgeborene gleichfalls nur allmählich leistet.

Ich finde, daß man der Ehrenfels'schen Gestaltqualität überhaupt nicht gerecht wird, wenn man sie nur als ein Plus zur Summe der Empfindungen beurteilt, nicht als etwas vor aller Perzeption bereits Gegebenes, das in dieser nur realisiert, nicht geschaffen wird. Eine Melodiegestalt zeigt das deutlich, denn sie ist bei allen Einzeltönen der Melodie — die doch auch in der Erinnerung nur sukzessiv ins Bewußtsein treten — totaliter gegeben, ist daher etwas Apriorisches. Hier sei darauf verwiesen, daß nach *Meinong*, dem bekannten Grazer Gegenstandstheoretiker, Melodien, überhaupt Gestalten, nicht vom Künstler geschaffen, sondern nur entdeckt, d. h. aus latenter Anwesenheit im Bewußtsein erweckt und erst sekundär zu Tönen und anderem Material in Beziehung gebracht werden; mir scheint aber, daß *Ehrenfels* ganz der gleichen, von *Plato* übernommenen Auffassung ist.

Zum Schlusse möchte ich noch auf die auffallende Parallele des phänomenologischen Gestaltsprozesses zur morphologischen Entwicklung hinweisen. Wie die Entfaltung des Gestaltlichen am Körper abhängig ist von den Chromosomen, also der im Kern gegebenen Erbsubstanz, so auch die Wahrnehmung von besonderen Nervenzellen, die wir direkt als gestaltbildende bezeichnen dürfen. Sowohl die Entfaltung der Gewebe, die der Körpergestalt als Unterlage dienen, als auch die Empfindung, die gleiche Bedeutung hat für die Wahrnehmung, verläuft an sich selbständig: die



neuerer histologische Forschung hat gezeigt, daß die Gewebe hervorgehen aus ganz selbständigen Gewebsanlagen, die eine zweite Erbmasse im Ei bedeuten, und so ist auch die Empfindung gebunden an ganz selbständige Neurone, die sozusagen auch eine zweite Anlagensubstanz in Hinsicht auf Psychisches bedeuten. Hier wie dort haben wir eine Anlage für Stoff und Form, nur in Berücksichtigung beider verstehen wir Entwicklung und psychisches Erlebnis ganz. Sekundär mag sich bei beiden eine überaus enge Beziehung von Stoff- und Formprozeß ergeben, was ja nicht weiter überraschen kann, aber primär sind ohne Zweifel beide Prozesse etwas völlig Selbständiges, welche Erkenntnis heute leider noch viel zu sehr vernachlässigt wird.

Wien, 11. Dezember 1921.

K. C. Schneider, Wien.

### Erwiderung.

Herr Schneider kann unmöglich genau genug gelesen und verstanden haben, um was es sich in der Theorie physischer Gestalten handelt. Behauptungen wie: ich lehnte die Neuronentheorie ab, oder: meiner Meinung nach gesellen sich die Eigenstrukturen elektrischer Leiter den lokalen Ladungsbeträgen als etwas Ganzes, Gestaltartiges zu — beweisen das zur Genüge. Mit moderner Tierpsychologie, die ich nach Schneider nicht würdige, habe ich doch mehr Fühlung als er meint. Daß es im Gebiet des Instinktmäßigen relativ feste Bereitschaft für einzelne und spezifische Gestaltungen im Wahrnehmen und Handeln gibt, erkenne ich durchaus an, aber das kann mich freilich nicht zu der Auffassung bringen, daß alle Gestaltung durch besondere Maschineneinrichtungen im Nervensystem vorbereitet sei. Ich selbst habe ferner ausdrücklich hervorgehoben, daß unter dem Einfluß aktiver Verhaltensweisen gestaltet und umgestaltet werden kann, was vorher chaotisch oder anders gestaltet war. Wie in der von Koffka besprochenen Schrift lehne ich aber auch jetzt die Folgerung ab, daß deshalb allgemein ein besonderes und der Regel nach nicht beobachtbares Agens, als Deus ex machina und auf unbegreifliche Art, aus Stücken Gestalten schaffe. Es führt keine sachliche Notwendigkeit zu dieser Annahme, und wenn Schneider die physikalischen Erörterungen meiner Schrift erst ganz übersieht, wird er sich überzeugen können, daß man auf jene Art nur eine fruchtbare Forschungsrichtung versperrt. Vollkommen einverstanden bin ich mit Schneider darin, daß zwischen Gestaltung im Psychologischen und Gestaltbildung in der Morphogenese auffallendste Ähnlichkeiten bestehen. Aber auch die Probleme der Entwicklungsdynamik sind weder durch die Hypothese einer festen Maschinenanlage in der Eizelle noch durch die Annahme eines besonderen formbildenden Agens bisher wirklich geklärt worden. Ob die Theorie physischer Gestalten sich auf diesem Gebiet bewährt, muß die Zukunft lehren.

Braunlage, 7. Januar 1922.

W. Köhler.

## Über die Herstellung spiegelnder Oberflächen.

Eine Reihe Metalle — auch einige Nichtmetalle und Metallverbindungen — können in spiegelnder, das Licht regelmäßig zurückwerfender Form auftreten. Es nimmt diese Erscheinungsform das wissenschaftliche Interesse des Chemikers und Physikers in besonderem Maße in Anspruch. Aber auch die technische Bedeutung der

Spiegelherstellung ist für friedliche und kriegerische Zwecke eine recht große. Die guten und schlechten Erfahrungen, die man im letzten Krieg auf diesem Gebiet gemacht hat, haben vermutlich der „Physical Society of London“ und der „Optical Society“ Veranlassung zu einem Ausspracheabend gegeben, dessen Vorträge und Verhandlungen erschienen sind unter dem Titel „A Discussion on 'The Making of Reflecting Surfaces', Held on 26th November 1920, At The Imperial College of Science and Technology South Kensington S.W. 7“ im Verlag von „The Fleetway Press, Ltd., Dane Street, Holborn, W. C. 1“ (Preis 5 s).

In 13 Abhandlungen werden die Verspiegelungsverfahren in geschichtlicher, wissenschaftlicher und technischer Hinsicht behandelt. Auf den Inhalt dieser Abhandlungen soll im folgenden kurz eingegangen werden.

### 1. Survey of the Bibliography on Metallic Deposition on Glass. (By R. Kanthack.)

Nach einem durchaus berechtigten Hinweis auf den nutzlosen Ballast, der neben einer ganzen Reihe von Versilberungsvorschriften und verhältnismäßig wenigen wissenschaftlichen Veröffentlichungen in der Spiegel-literatur mitgeschleppt wird (ganz ähnlich liegen die Verhältnisse auch in der photographischen Literatur [Ann. des Ref.]), gibt der Verfasser einen geschichtlichen Überblick über das Versilbern, Vergolden und Verplatinieren von Glas auf chemischem und physikalischem Wege. Ausgehend von Liebig's bahnbrechender Entdeckung, daß beim Erhitzen von Acetaldehyd und einer Aufschwemmung von Silberoxyd in Wasser sich an den Wänden des Reaktionsgefäßes ein Silber Spiegel bildet (Ann. d. Pharm. 14, 1835, 134—144), wird auf die vielen späteren Verfahren der Spiegelherstellung eingegangen, von denen ich hier besonders auf das Martinsche (Compt. Rend. 56, 1863, 1044) als recht brauchbares hinweisen möchte. Auch die physikalische Methode der Spiegelherstellung durch Kathodenzerstäubung wird berücksichtigt; es hätte aber diese wissenschaftlich recht bedeutungsvolle Methode vielleicht eine etwas eingehendere Behandlung verdient. Erfreulich ist der starke Hinweis auf die wissenschaftlich sicher bedeutendste Arbeit des Gebietes aus der neueren Zeit „über die Bildungsformen des Silbers und das Spiegelsilber“ von Kohlschütter und Fischmann in Liebig's Annalen Bd. 387, S. 86—145, 1911.

### 2. A Bibliography of the more important Papers on the Construction and Nature of Reflecting Surfaces. (By R. Kanthack.)

In diesem Abschnitt wird eine gute Übersicht über die Literatur zur Spiegelherstellung von 1798 bis 1915 gegeben, die unzweifelhaft eine vorhandene Lücke ausfüllt. Anspruch auf Vollständigkeit kann und will diese Aufstellung aber wohl nicht machen. Zumal die reichliche Literatur über die Spiegelbildung durch Kathodenzerstäubung und die Patentliteratur hätten etwas mehr Berücksichtigung finden können.

### 3. Notes on the Formaldehyde Process of Silvering. (By H. N. Irving.)

Hier werden genaue Angaben über das Versilberungsverfahren mit Silbernitrat-Ammoniak und Formaldehyd gemacht und einige Anweisungen zur Politur der so erzeugten Silberspiegel gegeben.

### 4. Some Workshop Notes on Silvering. (By James Weir French.)

Bei diesen aus der Werkstatt von Barr und Strout in Glasgow stammenden Hinweisen, die sich auf den alten Zinnamalgamprozeß sowie auf die Versilberungsverfahren mit Formaldehyd, Rochellesalz, Weinsäure und

Zucker als Reduktionsmittel beziehen, sind bemerkenswert die Angaben über das bei den verschiedenen Verfahren verschiedene Reflexionsvermögen der Spiegel. Amalgamspiegel werfen 70, Weinsäurespiegel 90, Rochellesalzsiegel 92, Zuckerspiegel 98 % des auffallenden Lichtes zurück. Eine Erklärung für die merkwürdige Verschiedenheit bei den Silberspiegeln wird nicht gegeben. Nach Ansicht des Referenten dürfte sie auf die Adsorption von Zersetzungsprodukten der Reduktionsmittel durch das zunächst kolloidal mit großer Oberfläche auftretende Silber zurückzuführen sein.

Einige Fehler bei der Versilberung, wie Nadelstiche, Flecken, Schwammigkeit des Silbers, werden besprochen und Mittel zu ihrer Beseitigung angegeben. Auch die Reinigung der Glasflächen — ein für die Güte der Versilberung recht wichtiger Punkt — findet eine eingehende Besprechung sowie ihre Behandlung mit Zinnchlorür, die die Versilberung begünstigt und ihr Haften am Glase erhöht.

Diese günstige, bereits 1876 von *Pratt* beobachtete Wirkung des Zinnchlorürs, die selbst durch andauerndes Waschen nicht zu beseitigen ist, führt *French* darauf zurück, daß das Salz eine stärkere Konzentration der Reduktionsmittel an der Glasfläche hervorruft. Der Referent möchte die Wirkung eher in einer Oberflächenänderung des Glases und in einer silberkeimauslösenden Eigenschaft des starken Reduktionsmittels Zinnchlorür erblicken.

Auch über Oberflächenversilberung und ihren Schutz durch Lacke wird berichtet. Der Verfasser kommt zu dem vom Referenten geteilten Schluß, daß ein dauernder Schutz des Silbers durch eine dünne, die Bildgüte nicht wesentlich ändernde Lackierung nicht zu erzielen ist.

5. The Silvering of Glass Reflectors by Chemical Deposition. (By *F. Ellerman* and *H. D. Babcock*, Mount Wilson Observatory.)

6. The Silvering of a Large Reflector. (By *C. R. Davidson*, Royal Observatory, Greenwich.)

In diesen beiden Abhandlungen beschreiben die Autoren die Oberflächenversilberung astronomischer Spiegel, sowie deren Polierung. Sie wenden den sogenannten „*Brashear Process*“ an, der starke, glänzende und widerstandsfähige Silberschichten liefert. Da dieses von *Brashear* 1893 im „*English Mechanic*“ veröffentlichte Verfahren recht brauchbare Spiegel liefert, dürfte es von Interesse sein, die Versilberungsvorschrift aus 6. zu geben:

- A. 10prozentige Silbernitratlösung,
  - B. 25prozentige Ammoniaklösung,
  - C. 10prozentige Ätzkalilösung,
  - D. Reduktionslösung:
- |                            |          |
|----------------------------|----------|
| Destilliertes Wasser . . . | 2000 cem |
| Zucker . . . . .           | 180 g    |
| Salpetersäure . . . . .    | 8 cem    |
| Alkohol . . . . .          | 350 cem. |

A, B, C können vor Gebrauch angesetzt werden, D wird am besten einige Monate vor der Anwendung bereitet.

Zur Ausführung der Versilberung gibt man beispielsweise zu 100 cem A ungefähr 50 cem B (Ammoniak), bis die Lösung fast klar ist. Dann fügt man 50 cem C hinzu, wodurch die Mischung wieder dicker und dunkelbraun wird. Hierauf gibt man wieder Ammoniak hinzu, bis die Lösung erneut fast klar wird, wobei ein Überschuß von Ammoniak streng zu vermeiden und gegebenenfalls durch Zusatz von Silbernitratlösung wieder unschädlich zu machen ist. Zu

dieser Lösung kommen 25 cem D (Zucker) verdünnt mit 500 cem destilliertem Wasser, aber erst unmittelbar vor Ausführung der Versilberung. Die für das Versilbern beste Temperatur beträgt 18—19° C. Auf die gute Reinigung der Glasfläche mit Salpetersäure wird besonderes Gewicht gelegt. Nach dem Trocknen wird die Spiegelfläche mittels eines mit feinstem Polierrot eingeriebenen Sämschlederballens überpoliert.

7. Notes on the Silvering of Quartz and Glass Fibres. (By *R. S. Whipple*.)

Der Verfasser beschreibt hier die Anfertigung von versilberten Glas- und Quarzfäden im besonderen in ihrer Anwendung für das Einthovensche Saitengalvanometer. Für die Versilberung der Fäden bedient er sich des Verfahrens mit Rochellesalz (weinsaures Kalium-Natrium). Das Versilberungsgefäß und die Art und Weise der Fadenaufhängung werden genau beschrieben, ebenso ihr Anlöten an Drähte mittels eines leicht schmelzbaren Lotes aus 50 Teilen Wismut, 31,25 Teilen Zinn und 18,75 Teilen Blei. Als ungefähre Widerstand eines versilberten Fadens von 7,5 cm Länge und 0,003 mm Durchmesser werden 2500 Ohm angegeben.

8. Some Notes on Mirrors used for Reflecting Heat Radiation. (By Prof. *Chas. Féry*, École Municipale de Physique et de Chimie, Paris.)

*Féry* verwendet zur Reflexion der Wärmestrahlung Silberspiegel, die mit einem dünnen Asphaltlack überzogen sind. Die Spiegel, die das Aussehen von Goldspiegeln haben und nach Angabe des Verfassers nur 3 % der ganzen Reflexion des Silbers absorbieren, zeigen keine selektive Absorption im Ultrarot. Der dünne Asphaltlack, der durch Belichtung immer härter wird, schützt sie vor Zerstörung durch chemische Agentien. Als Lösungsmittel für den Asphalt nimmt *Féry* französisches oder amerikanisches Terpentinöl oder noch besser Pseudocumol.

9. Deposition of Metals by Cathodic Sputtering in Vacuo. (By *F. Ellerman* and *H. D. Babcock*, Mount Wilson Observatory.)

Es wird die Apparatur beschrieben, die die Verfasser zum Herstellen von kleinen, nicht über 3 Zoll Durchmesser besitzenden Spiegeln durch Kathodenzerstäubung benutzen, und es werden Angaben über das notwendige Vakuum und die angewendete Spannung und Stromstärke gemacht.

10. Note on the Production of Mirrors by Cathodic Bombardment. (By *F. Simeon*.)

Von dieser, der Werkstatt von *Hilger* (London) entstammenden Mitteilung interessiert neben den Angaben über die apparative Anordnung vor allem einiges über die Eigenschaften der durch Kathodenzerstäubung erzeugten Metallschichten. Sie haften besser am Glas als auf chemischem Wege erzeugte Spiegel und lassen sich leicht in jeder Dicke und von vielen Metallen erzeugen, bei denen eine Spiegelbildung auf chemischem Wege nicht möglich ist.

11. Platinum Reflecting Surfaces Prepared by the „Burning-in“ Process. (By *Julius Rheinberg*.)

Mit großer Ausführlichkeit wird hier eine Abwandlung des bekannten Verfahrens beschrieben, Platinspiegel durch Erhitzen von Platinsalzen mit Flußmitteln, wie Borsäure und in der Wärme reduzierend wirkenden ätherischen Ölen, wie z. B. Lavendelöl, zu erzeugen. An Stelle dieser Körper verwendet *Rheinberg* mit der alkoholischen Platinsalzlösung versetztes methylalkoholisches Kollodium, dem zur Herabdrückung der Einbrenntemperatur Wismutchlorid hinzugefügt wird. Gegenüber der älteren Methode mit ätherischen Ölen hat das unter Patentschutz stehende Verfahren



*Rheinbergs*<sup>4)</sup> unzweifelhaft Vorzüge.<sup>4)</sup> Das dünne Kolloidumhäutchen verbrennt bei verhältnismäßig niedriger Temperatur, das richtige Treffen des gewünschten Verhältnisses zwischen Platinsalz und Kolloidum ist sicher leichter als bei der Lavendelmethode, auch dürfte es einfacher sein, mit Kolloidum gleichmäßige Schichten zu erreichen als mit dem älteren Verfahren. Je nach der Einbrenntemperatur erhält man leicht abwischbare, lose anhaftende oder fest mit dem Glas verbundene Spiegel.

Die Tiefe, bis zu der das Platin in das Glas eindringt, nimmt *Rheinberg* zu 200  $\mu$  an. Es eignen sich nach *Rheinberg* nicht alle Gläser für das Einbrennverfahren und die Einbrenntemperatur muß der Glasart angepaßt werden. Die Reinigung der Gläser geschieht durch Erhitzen auf 200–300° C.

Die Angaben über das Reflexionsvermögen des eingebrannten Platins sind wohl mit einiger Vorsicht aufzunehmen. *Rheinberg* gibt selbst an, daß er keine genauen Messungen gemacht hat. *Rheinberg* sieht den Hauptwert seines Verfahrens, das auch auf andere Metalle der Platingruppe anwendbar ist, in der Verwendung zur Herstellung optisch guter, mehr oder weniger durchlässiger, haltbarer, neutralgrauer Spiegel. Daß nach diesem „Einbrennverfahren“ optisch wirklich einwandfreie spiegelnde Flächen herzustellen seien, scheint dem Referenten doch recht zweifelhaft, und er möchte annehmen, daß die Kathodenzerstäubung zu besseren Erfolgen führt.

12. A Note on Mirrors for use in Optical Instruments under Industrial Conditions. (By W. G. Collins.)

*Collins* spricht hier von der Verwendung nicht rostenden Stahles zur Herstellung von Spiegeln, die wie Pyrometerspiegel für industrielle Zwecke zerstörend wirkenden Gasen ausgesetzt sind. Er ist mit der Leistung dieser Stahlspiegel zufrieden, verspricht sich aber noch bessere Erfolge mit Spiegeln aus „Stellite“-Legierung.

Die Verwendung des nicht rostenden Stahles, der nach *Collins* 68 % des unter 45° einfallenden Lichtes zurückwirft, scheint dem Referenten für bestimmte optische Zwecke aussichtsvoll.

13. A Photometric Method of Measuring the Reflecting Power of Mirrors. (By John W. T. Walsh.)

Die hier beschriebene, immerhin in einem gewissen Zusammenhang mit dem Thema der Spiegelherstellung stehende Messung der Reflexionskraft von versilberten Gläsern geschieht in der Weise, daß die Strahlung einer Wolframglühlampe einmal unmittelbar mit einer Vergleichslampe verglichen wird und dann, nachdem sie von drei versilberten Gläsern unter 45° zurückgeworfen worden ist.

Die Wolframlampe bleibt an ihrem Ort stehen, die drei fest gegeneinander angeordneten Spiegel werden durch Drehung um sie in den Strahlengang gebracht und der Reflexionsverlust durch eine erneute Messung bestimmt. Die Vorteile und Nachteile des Verfahrens, dessen genauere Beschreibung hier zu weit führen würde, werden vom Verfasser erörtert.

Aus der Schlußbesprechung, die an die 13 Abhandlungen sich anschließt, geht deutlich hervor, daß eine ganze Reihe Fragen, die sich auf das Belegen von Glas mit Metallen beziehen, noch ungeklärt sind. Eine eingehende Bearbeitung dieser Fragen, von denen hier nur zum Beispiel auf das recht verschiedene Verhalten einzelner Glasarten gegenüber den Versilberungslösungen,

sowie auf die Änderungen der Belage in der Hitze hingewiesen sei, würde nach der Ansicht des Referenten von technischer Bedeutung und wissenschaftlichem Wert sein.

Der Veröffentlichung der Physical Society of London und der Optical Society ist das Verdienst zuzusprechen, daß sie eine Übersicht über das Gebiet gibt und zu weiteren Versuchen anregt.

K. Gundlach, Jena.

## Astronomische Mitteilungen.

**Neue Darstellungen der Milchstraße.** Zu den mannigfachen bereits vorhandenen Darstellungen der *Milchstraße*, so wie sie sich in *Verlauf und Helligkeitsverteilung dem bloßen Auge* darbietet, ist eine neue hinzugetreten, die einen gewissen Abschluß dieser Art von Untersuchungen bildet. Sie ist in den *Annalen der Sternwarte zu Leiden* (Teil XI, 3. Stück) unter dem Titel: *Die nördliche Milchstraße* von A. *Pannekoek* (Amsterdam) gegeben worden, dem wir zugleich auch wichtige Arbeiten über die Entfernung der *Milchstraße* verdanken, worüber in anderem Zusammenhang berichtet werden soll.<sup>5)</sup>

Die Beobachtungen *Pannekoeks* gehen bis 1889 zurück und beziehen sich auf das ganze in unseren Breiten wahrnehmbare *Milchstraßengebiet*, wobei die Einzelheiten teils in Beschreibungen, teils in Zeichnungen festgehalten wurden. Um die Helligkeiten richtig wiederzugeben, sind außerdem einzelne Teile durch Stufenschätzungen (ähnlich den Argelanderschen Stufenschätzungen bei Sternen) untereinander verglichen. 18 Normalstellen wurden in 26 Nächten von 1897 bis 1913 immer wieder gegeneinander geschätzt, und 128 weitere Stellen an diese angeschlossen, so daß die Helligkeiten der einzelnen *Milchstraßenteile* in einem einheitlichen System gegeben werden konnten.

Die Ergebnisse selbst sind in einer umfassenden Beschreibung sowie in zwei verschiedenen Arten von Karten niedergelegt. Einmal ist die *Milchstraße* weiß auf schwarzem Grund aufgetragen und hierdurch eine Übersicht über deren Gestalt und Helligkeit gewonnen. Ferner sind die gesamten Ergebnisse durch eine Karte der Kurven gleicher Helligkeit (Isophoten) wiedergegeben, worin zugleich die geschätzten Stellen eingetragen sind. Es liegt also damit eine *zahlenmäßige Darstellung* des *Milchstraßenphänomens* vor, und eine solche allein kann ja als Grundlage für alle weiteren Untersuchungen des Baues der *Milchstraße* dienen.

*Pannekoek* hat sich nun aber nicht auf die Wiedergabe seiner eigenen Beobachtungen beschränkt. Nicht nur enthält seine Beschreibung einen eingehenden Vergleich mit den älteren zeichnerischen Darstellungen visueller Beobachtungen von *Easton*, *Boeddicker*, *Julius Schmidt*, *Gould* (*Uranometria Argentina*) u. a., sondern er hat auch diese älteren Beobachtungen durch Abschätzen der in den Zeichnungen gegebenen Helligkeitsintensitäten zahlenmäßig zu fassen gesucht, wobei ihm für *Boeddicker* und *Schmidt* die Originalzeichnungen zur Verfügung standen. Er vereinigt die aus den Zeichnungen gewonnenen Helligkeitsangaben mit seinen eigenen zu einem Zahlensystem, wobei für die Ecke jedes Quadratgrades und bei den inneren Teilen auch noch für die Mitte eines solchen eine durchschnittliche Helligkeitszahl ermittelt ist. Die Helligkeiten gehen von Stufe null bis sechs unter Angabe von Zehntelstufen.

Auch die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in einer Isophotenkarte niedergelegt, welche die Beobach-

<sup>4)</sup> Engl. Pat. 156 472 vom 13. 1. 1921.

tungen von Schmidt, Boeddicker, Easton und Pannekoek vereinigt enthält. Diese Karte und die ihr zugrunde liegenden Helligkeitszahlen dürfen als das beste Gesamtergebnis aus den angeführten Untersuchungen über die Milchstraße angesehen werden; und A. Pannekoek sagt wohl mit Recht, daß eine nochmalige 5 bis 10 Jahre erfordernde Durchforschung der nördlichen Milchstraße in derselben Weise, wie es die hier geschilderten Arbeiten tun, das ermittelte Gesamtergebnis nur unerheblich verbessern könnte.

Jedoch ist damit die Darstellung des Milchstraßenphänomens noch nicht abgeschlossen, ganz abgesehen davon, daß eine entsprechende Untersuchung über die Milchstraße des südlichen Himmels bis jetzt fehlt. Die Beobachtungen Pannekoeks und seiner Vorgänger sind lediglich Schätzungen, von denen man noch nicht sagen kann, wie weit sie über den ganzen Verlauf der Milchstraße hin als homogen anzusehen sind. Notwendig ist eine Festlegung der absoluten Helligkeitsdifferenzen und Helligkeiten für die einzelnen Teile. Ein wichtiger Anfang hierzu ist von K. Graff in einer Arbeit: *Die Umrisse und Helligkeitsverhältnisse der Milchstraße nördlich von 25° südlicher Deklination* (Astronomische Abhandlungen der Hamburger Sternwarte in Bergedorf Bd. II, Nr. 5) gemacht worden. Graff hat mit einem besonders konstruierten Flächenphotometer die Helligkeitsdifferenzen von 32 Stellen der Milchstraße gegen den Himmelsgrund in der Nähe des Nordpols gemessen und daran durch Schätzung die Helligkeiten weiterer Stellen angeschlossen. Daneben hat er ähnlich wie Pannekoek und die früheren Beobachter die Umrisse der Milchstraße nach dem freien Anblick skizziert und ihre Helligkeit in 4 Stufen geschätzt, wobei die Stufen photometrisch geeicht wurden. Auch er hat die Ergebnisse seiner mehrjährigen Beobachtungen in einer Isophotenkarte niedergelegt. In dieser sind also die Helligkeiten sowohl der einzelnen Teile, als auch des ganzen Verlaufs der Milchstraße in ein photometrisches System gebracht, wodurch erst die Milchstraßenbeobachtungen ihren vollen Wert für statistische Untersuchungen über den Aufbau des Sternsystems erlangen.

Freilich sind alle diese Beobachtungen noch mit einer systematischen Fehlerquelle behaftet. Ältere Untersuchungen von L. Yntema und neue, die von P. J. van Rhijn<sup>1)</sup> am Mount Wilson-Observatorium angestellt wurden, haben ergeben, daß zum Milchstraßenlicht noch eine allgemeine Beleuchtung des Himmels hinzukommt, welcher Yntema den Namen „Erdlicht“ beigelegt hat. Letzteres ist seiner Verteilung und seinem Ursprung nach noch wenig bekannt; teilweise scheint es dem Nordlicht verwandt, teilweise auch eine Fortsetzung des Zodiakallichtes über den ganzen Himmel hinweg zu sein. Das Erdlicht wechselt in seiner Helligkeit mit dem Ort an der Sphäre und ist auch zeitlichen Schwankungen unterworfen; es verfälscht die Helligkeitsbestimmungen der Milchstraße in einer zurzeit noch nicht sicher erfassbaren Weise.

Zu den Darstellungen der Milchstraße auf Grund visueller Beobachtungen ist schließlich noch eine solche hinzugetreten, die auf photographischen Aufnahmen be-

ruht. Sie ist von F. Goos<sup>2)</sup> aus Photographien zusammengefaßt, die M. Wolf 1905–1914 an der Königsstuhl-Sternwarte gewonnen hat. Neben einem älteren Versuch von Easton ist dies die erste zusammenhängende bildliche Darstellung der nördlichen Milchstraße auf photographischer Grundlage.

Man könnte nun leicht dazu geführt werden, diese letztere mit den Zeichnungen visuellen Ursprungs zu vergleichen, und in der Tat finden sich stellenweise recht auffallende Unterschiede vor. Doch sind, worauf auch A. Pannekoek ausführlich hinweist, beide Arten der Darstellung gar nicht vergleichbar. Das Auge beobachtet Flächenhelligkeiten, die photographische Platte gibt einzelne Sterne. Wohl kann der Zeichner die verschieden dicht stehenden Sterne der photographischen Platte wieder zu Flächen verschiedener Helligkeitsabstufung zusammenfassen; z. T. auch vereinigen sich die Sterne von selbst zu Flächen. Aber die Durchmesser der Sternscheibchen sind keineswegs proportional der Intensität des Sternlichts. Die schwachen Sterne treten verhältnismäßig viel stärker hervor als die hellen. Die visuell beobachtbare Milchstraße und die der photographischen Aufnahme sind also Erscheinungen völlig verschiedenartiger Natur. Freilich wird es für die Zukunft von größter Wichtigkeit sein, die visuelle und photographische Helligkeit der einzelnen Teile der Milchstraße zahlenmäßig nebeneinander festzulegen und so durch Vergleich die Farbe der Milchstraße zu bestimmen. Aber dies kann nur entweder durch photographische Aufnahmen der Milchstraße geschehen, die den bisherigen entsprechen, aber im Licht des visuellen Teiles des Spektrums erhalten sind, oder noch besser durch die Bestimmung der photographischen Flächenhelligkeiten aus Schwärzungen der gewöhnlichen photographischen Platte. A. Kopff.

**The local starsystem** (A. Pannekoek, Veröffentlichungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften in Amsterdam 1921). — Verfasser sucht durch Abzählungen nach der Methode von Kapteyn und van Rhijn die Struktur des örtlichen Sternsystems näher zu erforschen. Bekanntlich nimmt man jetzt an, daß die Sonne in einem abgeplatteten Sternhaufen steht, dessen Äquator Goulds Gürtel der hellen Sterne um etwa 12° gegen die Milchstraßenene geneigt ist. Die Untersuchungen von Pannekoek gehen bis zu einer Entfernung von 1000 Parsek (1 Parsek ist die Entfernung, welche der Parallaxe 1" entspricht, also etwa 200 000 Astronom. Einheiten). Der Verfasser legt sein Resultat in Tabellen und einem Diagramm mit Linien gleicher Dichte vor. Es mag hier nur erwähnt werden, daß die Anhäufung im Scorpius (nach Charliers Untersuchungen über die B-Sterne die Richtung, in welcher das Zentrum des Systems liegt) sich sehr gut ausprägt. Die Entfernung ergibt sich zu etwa 150 Parsek. Ebenso ist eine Sternanhäufung im Cygnus angedeutet, und absorbierende Nebel im Taurus und Ophiuchus zeigen sich als starke Einbuchtung der Linien gleicher Dichte. Die Untersuchungen tragen nur vorläufigen Charakter.

Böttlinger.

<sup>1)</sup> Vgl. besonders P. J. van Rhijn, On the brightness of the sky at night and the total amount of starlight. *Astrophys. Journal* Vol. 50, 1919 und Publications of the Astronomical Laboratory of Groningen Nr. 31, 1921.

<sup>2)</sup> Dr. F. Goos, Die Milchstraße. Mit einem Geleitwort von Prof. Max Wolf. Verlag von Henri Grand in Hamburg-Altrahlstedt. Enthält neben der photographischen Darstellung der Milchstraße auch eine Wiedergabe der älteren Zeichnungen von Heis, Boeddicker, Easton, Houzeau und der Uranometria Argentina in einem einheitlichen Kartennetz.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 6. (Seite 121—144)

10. Februar 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

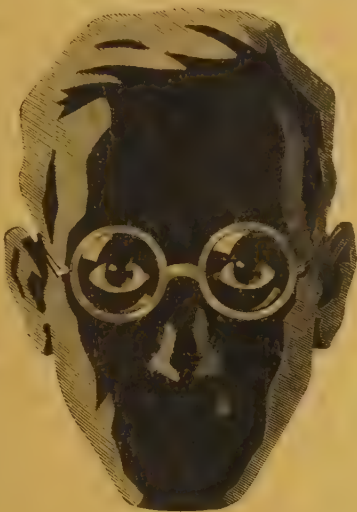
Über den motorlosen Flug. Von *Th. von Kármán*,  
*Aachen*. (Mit 14 Abbildungen.) S. 121.

Die Phylogenie der Getreide. Von *Elisabeth*  
*Schiemann, Berlin*. S. 133.

Die zweite Tagung der Deutschen Pharmako-  
logischen Gesellschaft. S. 140.

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin:

Mehr Geographie in die Schule. Die Kunst der  
Steinzeit in Neu-Guinea. S. 144.



## GOERZ

### Largon-Brillengläser

übertreffen an Sehschärfe die bisher besten modernen Gläser.  
Sie liefern bei schrägem Durchblick unter 30° zur Achse  
etwa doppelt so scharfe Netzhautbilder als die, punktuell  
abbildenden Gläser.

Bezug durch die Optiker. \* Druckschriften kostenfrei.

Optische Anstalt C. P. Goerz A.-G. Berlin-Friedenau 45

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 40.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 4.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 80 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24.  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20120 Julius Springer.  
Konten: für Anzeigen- u. Beilagenbeträge: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.  
für alle übrigen Zahlungen: Berlin Nr. 11100 Julius Springer.

### Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

J. D. Möller, Wedel in Holstein.

Gegründet 1864.

(250)

### Mikroskop

zu Kaufen gesucht.

(274)

Angebote unter F. C. 4054 an Rudolf Mosse, Cassel.

### Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

## Flugzeugstatik

Vor kurzem erschien:

Von Dipl.-Ing. Aloys van Gries. Mit 207 Textfig. (XII, 380 S.)

Preis M. 80.—; geb. M. 86.—

#### Inhaltsübersicht:

#### Erster Teil. Allgemeines über den Aufbau von Raumbauwerken für Flugzeuge.

1. Einführung. 2. Die aerodynamischen und statischen Grundlagen der Festigkeitsberechnung. 3. Die normale Zelle. 4. Allgemeiner Rechnungsgang für die normale Berechnung der Flugzeugzelle in Deutschland. 5. Allgemeine Formeln für die Stabkräfte der normalen Zelle. 6. Weiterentwicklungen aus der normalen Zellenverspannung. 7. Einfluß und Berechnung der Tiefenkreuzkabel. 8. Flugzeugberechnungen außerhalb Deutschlands. 9. Der Aufbau des Raumbauwerks. 10. Berechnung der Flügelholme. 11. Festigkeitszahlen und Baustoffe.

#### Zweiter Teil. Einzelteile und Einzelanordnung des Flugzeugs.

1. Einfluß der Spannweite  $b$  der Flügel. 2. Einfluß des Holmabstandes  $s$ . 3. Einfluß der Fachwerkhöhe  $h$ . 4. Die Flächenbelastung. 5. Einfluß der Staffelung. 6. Einfluß der Pfeilform. 7. Flügelrippen. 8. Flugzeuge mit nach innen zunehmender Konstruktionshöhe und Wasserflugzeuge. 9. Der Einfluß von außenliegenden Lasten. 10. Tandemanordnung der Flügel. 11. Spanntürme und Baldachine. 12. Kabelführung. 13. Anordnung der Innenverspannung. 14. Verwendung von überkreuzten Hauptstielen. 15. Günstigste Stellung der Flugzeugstiele. 16. Untersuchung des Einflusses exzentrischer Knotenpunktanschlüsse. 17. Einfluß der Vorspannungen der Kabel auf das Kräfte-system. 18. Holmformen. 19. Flugzeugstiele.

#### Dritter Teil. Besondere Beispiele und neue Systeme.

A. 1. Aufbau eines Ago C-Flugzeuges. 2. Kreuzverspannung eines älteren L. V. G.-Flugzeuges. 3. Fachwerkaufbau mit nur einem gelenkigen Stiel, außen. 4. Der Sopwith-Zweisitzer. 5. Der Nieuport-Eineinhalbdecker. 6. Verspannungsvorschlag Dörner. 7. Vereinfachung des Zellenaufbaues. 8. Flugzeug mit Pyramidenstiel. 9. L. V. G.-Kampfeinsitzer.

B. 10. Der Dreiecker. 11. Fachwerk mit schrägen, steifen Diagonalen ohne Gegenkabel. 12. Raumbauwerk mit Gerbergelenken. 13. Fachwerksysteme mit Holmunterteilung zur Verringerung der Knicklängen. 14. Fachwerk mit Druckstiel vom Rumpf zum Unterdeck. 15. Übertragender Oberflügel mit Brücke über dem Oberdeck oder druckfester Schrägstrebe, außen. 16. Verspannungslose Flugzeuge.

C. 17. Biegezugfeste Systeme ohne Diagonale mit steifen Ecken (Rahmenträger). 18. Das Flugzeugfachwerk mit Bogenholm statt Balkenholm. 19. Das Fachwerk mit Gerbergelenkholmen. 20. Getrenntes Biege- und Knickgefüge der Holme. 21. Anordnung von mehr als zwei Holmen in einem Flügel. 22. Mittenspannung zur Erreichung einer guten Bewegungsfreiheit für den Führer.

Schlußwort. — Bücherverzeichnis. — Sach- und Namenverzeichnis.



## Ueber den motorlosen Flug.

Von Th. von Kármán, Aachen.

.... Und Wieland der Schmied zeigte seinem Bruder Eigil ein kunstvoll gearbeitetes Federkleid. „Probiere es Eigil, — sagte er — daß ich sehe, ob es tauglich ist. Fliege auf gegen den Wind und dann abwärts mit dem Winde, wie der Vogel fliegt.“ Eigil tat, wie ihm geheißen war; er flog dahin, leicht wie ein Aar in hoher Luft, aber als er sich niederließ, kam er unsanft zur Erde. „Gut ist dein Gewand zum Fliegen“, rief er, als er sich aufgerafft hatte, „aber es taugt nicht zum Niederlassen“. Wieland lachte: „Bist ein Schütze, Eigil, und weißt nicht, daß kein Vogel sich mit, sondern gegen den Wind setzt? Grolle nur nicht, ich dachte, du flöhest davon, so ich dir die Wahrheit sagte.“ ....

An die alte scherzhafte Geschichte aus den Heldensagen der Edda wurde erinnert, wer im August vergangenen Jahres, auf der Wasserkuppe in der Rhön, den Versuchen einer kleinen begeisterten Gruppe von Anhängern des Fluges ohne Motor beiwohnte. Wenn auch die Flieger nicht unmittelbar Flügelkleider an ihre Körper geheftet haben, sondern in mehr oder weniger Vertrauen erregende, mit Tragflügeln versehene Apparate sich gesetzt oder gehängt haben, bevor sie sich dem Winde anvertrauten, so mußte es auf den ersten Blick doch als abenteuerliche Idee erscheinen, nach der glänzenden Entwicklung des Motorfluges zum Flug ohne Motor zurückzukehren. Das eine Ziel der Veranstaltung, welche den Namen: „Gleit- und Segelflug-Wettbewerb“ führte, die Ausübung und Vervollkommnung des Gleitflugesportes, hatte allerdings nichts Abenteuerliches oder Gewagtes an sich. Jedes Flugzeug, welches nach dem Drachenprinzip gebaut ist, besitzt die Gleitfähigkeit, d. h. es kann in geradliniger oder spiralförmiger Bahn mit konstanter Geschwindigkeit nach unten schweben. Der Gleitflug ist die normale Art, in welcher das Motorflugzeug von der Höhe herabsteigt und die Möglichkeit des langsamen Gleitfluges bietet gerade die große Sicherheit des Drachenflugzeuges gegenüber anderen Systemen. Mit dem Gleitflug begann ja auch die Entwicklung des Flugzeugbaues. Der große Vorkämpfer der Flugtechnik O. Lilienthal hat durch Gleitflugversuche die Bahn für die Entwicklung des Flugzeugbaues vorgezeichnet; auch die Gebrüder Wright, die ersten Menschen, welche mit einem Apparat, welcher schwerer ist als die Luft, in die Höhe gestiegen sind, haben mit dem Gleitflug angefangen. Die Wasserkuppe in der

Rhön bietet zur Ausführung dieses Sportes ausgezeichnete Gelegenheit; ihre Abhänge sind nach allen Richtungen frei und der unbewachsene weiche Boden bietet gute Landungsmöglichkeit. Dazu ist Windstille an diesem Punkte der Erde fast unbekannt, so daß man beinahe stets Gelegenheit hat, nach dem berechtigten Rezept des tapferen Wielands, mit beträchtlichem Gegenwind starten und landen zu können. Bereits vor dem Kriege wurde die Wasserkuppe für Gleitversuche ausgenutzt. Der damals erreichte längste Gleitflug (783 m) wurde im Jahre 1913 von H. Gutermuth ausgeführt.

Wenn nun auch der Gleitflug an und für sich gewisses sportliches Interesse bietet und der Bau eines Gleitflugzeuges, da gute Profileigenschaften des Flügels und das Sparen mit Konstruktionsgewicht unmittelbar zur Geltung kommen, eine ausgezeichnete Vorschule zum Flugzeugbau darstellt, so hat man doch, solange man beim reinen Gleitflug bleibt, vom flugtechnischen Standpunkte aus keine grundsätzlich neuen Probleme vor sich. Der Ehrgeiz der Veranstalter und der Teilnehmer des genannten Wettbewerbs, dieser ersten flugsportlichen Veranstaltung nach dem unglücklichen Ausgange des Krieges, gingen jedoch weitaus über die Vervollkommnung des reinen Gleitflugesportes hinaus. Man hat den höheren Zweck mit dem Wort „Segelflug“ zum Ausdruck gebracht. Worin unterscheidet sich der Segelflug vom Gleitflug? Während man beim Gleitflug sich von einem höheren Orte schwebend herunterläßt, d. h. den Arbeitsbedarf des Schwebefluges durch die Arbeitsleistung der Schwerkraft deckt, strebt der Segelflieger sich in konstanter Höhe aufzuhalten oder auch höher zu steigen, und zwar ohne motorische Hilfe, sozusagen „aus eigener Kraft“. Wir wollen gleich hinzufügen, daß der Ausdruck „aus eigener Kraft“ nicht exakt zutreffend ist. Daß ein Schweben oder horizontales Fliegen, falls die notwendige Arbeitsleistung aus der Muskelkraft des Menschen entnommen werden soll, unmöglich ist, hat vor Jahrzehnten der große *Helmholtz* nachgewiesen, indem er bei den fliegenden Tieren und beim Menschen das Verhältnis der Arbeitsfähigkeit zu dem Körpergewicht verglich. Es ist vielleicht nicht ohne Interesse, seine Betrachtungen kurz zu wiederholen.

*Helmholtz* untersucht die Frage, wie die Flugfähigkeit eines Lebewesens sich ändert, wenn wir uns seinen Körper ähnlich vergrößert denken. Wir nehmen an, daß die linearen Abmessungen  $n$ -fach, die Flügelgeschwindigkeit  $k$ -fach vergrößert sind. Die Flügelfläche ist also  $n^2$ -mal

so groß geworden; der Druck auf die Flächeneinheit wird, da die Luftkräfte mit dem Quadrat der Geschwindigkeit wachsen,  $k^2$ -mal vergrößert. Da das zu tragende Gewicht mit dem Volumen, d. h. mit  $n^3$  wächst, so muß die Beziehung bestehen:

$$n^2 k^2 = n^3$$

oder

$$k = \sqrt{n}$$

Mit anderen Worten: ein vierfach so großer Vogel muß zweimal so rasch fliegen, damit er sich schwebend erhalten kann. Nun können wir die Zunahme des Leistungsbedarfs berechnen. Dieser ist proportional dem Gewicht  $\times$  Geschwindigkeit, da der aerodynamische Widerstand, den der Vogel überwinden muß, bei gleicher Güte des Mechanismus mit dem Auftrieb bzw. ebenfalls mit den Flächen und dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional ist. Der Leistungsbedarf wächst also mit  $n^3 k = n^{5/2}$ . Nimmt man nun an, daß die zur Verfügung stehende Energie mit dem Gewicht der Muskulatur proportional ist, so wächst diese nur mit  $n^3$ , während der Energiebedarf rapider, mit  $n^{5/2}$  zunimmt. Das Fliegen wird also mit Wachsen der linearen Abmessungen immer schwieriger. Nach *Helmholtz'* Meinung ist die obere Grenze etwa bei den großen Geiern erreicht und es ist „kaum als wahrscheinlich zu betrachten, daß der Mensch auch durch den allerschicktesten flügelähnlichen Mechanismus, den er durch seine eigene Muskelkraft zu bewegen hätte, in den Stand gesetzt werden würde, sein eigenes Gewicht in die Höhe zu heben und dort zu erhalten“<sup>1)</sup>.

Die *Helmholtz*schen Betrachtungen, obwohl sie vollkommen richtig sind, haben leider infolge einer von ihm sicher nicht gewollten Verallgemeinerung der Entwicklung der Flugtechnik mehr geschadet als genützt. Da leichte Motoren zu jeder Zeit nicht zur Verfügung standen, hat man das *Helmholtz*sche Urteil als ein Todesurteil aller Bestrebungen zur Verwirklichung des menschlichen Fluges aufgefaßt, und seine große Autorität genügte, daß die Flugtechnik für viele ernstesten Menschen als erledigt, als Hirnospinnst galt. Abgesehen davon, daß die *Helmholtz*schen Vergleichsberechnungen natürlich mit dem Motorflug nichts zu tun haben, und *Helmholtz* selbst sicher gar nicht daran zweifelte, daß, sobald genügend leichte Motoren zur Verfügung stehen, das Problem des maschinellen Fluges gelöst werden kann, vermag man den *Helmholtz*schen Argu-

menten aus folgendem Grunde nicht vorbehaltlos zuzustimmen: die wenigsten Vögel, und diese auch in den wenigsten Fällen, halten sich dadurch in den Lüften aufrecht, daß sie mit voller Anstrengung ihrer Kraft durch fortwährenden Flügelschlag die notwendige Schwebearbeit leisten. Man sieht vielmehr die meisten minutenlang fast unbeweglich schweben oder ohne sichtbaren Flügelschlag in ruhiger Haltung kreisen, als wenn sie eine geheimnisvolle Energiequelle hätten, aus welcher sie die zum Schweben notwendige Arbeitsleistung schöpfen.

*Diese geheimnisvolle Energiequelle ist der Wind*, genauer gesagt, die Richtungsabweichungen und Ungleichmäßigkeiten des Windes, seine *Schwankungen nach Richtung und Stärke*. Diese Art des Fluges, die Benutzung der Richtungsabweichungen und Ungleichmäßigkeiten der Luftströmung als Energiequelle, nennen wir „Segelflug“, und in den nächsten Zeilen wollen wir die Mechanik dieser Flugart und die Möglichkeiten der Übertragung auf den menschlichen Flug etwas näher beleuchten.

Es muß zunächst für jeden, der mit den Grundsätzen der Mechanik nicht vollkommen brechen will, als zweifellos gelten, daß jeder Körper, welcher schwerer ist als die Luft, sowohl zum Schweben an Ort und Stelle als zu einer horizontal fortschreitenden Bewegung durch das Luftmeer einer Arbeitsleistung bedarf. Da er in dynamischem Wege im Gleichgewicht gehalten wird, muß seinem Gewichte eine genau gleiche Reaktionskraft entgegengehalten werden, und diese kann nur durch fortwährende Beschleunigung von neuen und neuen Luftmassen nach unten erzeugt werden. Wie man nun auch die Sache einrichtet, ob die Beschleunigung dieser Luftmasse durch Flügelschlag, durch Luftschraube mit vertikaler Achse (Hubschraube) erzeugt wird, oder wie es bisher wohl am ökonomischsten geschieht, eine gekrümmte Tragfläche durch die Luft geschleppt wird, welche die an ihr vorbeistreichende Luftmasse, etwa in der Art einer Turbinenschaufel, immerwährend nach unten ablenkt, in allen diesen Fällen muß außer dem unvermeidlichen Reibungsverluste zumindest die kinetische Energie der nach unten geschleuderten Luftmasse als Arbeitsleistung aufgebracht werden. Die neuere Tragflächentheorie zeigt, daß diese kinetische Energie durch geeignete Wahl der Tragflächen und insbesondere durch Vergrößerung der Spannweite im Verhältnis zur Tragflächentiefe stark vermindert werden kann. Zu Null kann sie jedoch auch theoretisch, d. h. mit Vernachlässigung aller Reibungskräfte und der durch die Reibungskräfte erzeugten Wirbelungen nur dann reduziert werden, wenn wir eine unendlich lange, unendlich schmale Tragfläche ausführen könnten. In der Wirklichkeit haben wir also erstens infolge der endlichen Spannweite der Tragflügel einen Energiebedarf zur fortwährenden Neuerzeugung von kinetischer Energie zu

<sup>1)</sup> Es sei übrigens bemerkt, daß im letzten Jahre dem Franzosen *Poulain* gelungen ist, mit einem Fahrrad, welches mit Tragflügeln versehen war, sich vom Boden zu erheben und einen Sprung von 12 m zu machen. Dies ist jedoch nur als eine Akrobatenleistung anzusehen, durch welche die Richtigkeit der *Helmholtz*schen Behauptung nur bekräftigt wird. Bei dem *Poulain*schen Versuch handelt es sich darum, ob es gelingt, mit dem Fahrrad, bei flachgestellten Tragflügeln, solche Geschwindigkeit zu erreichen, daß es bei plötzlicher Steilstellung der Tragflügel in die Höhe gehoben wird. Sobald jedoch der Apparat in die Höhe geht, verliert er die Geschwindigkeit und muß nach kurzem Sprung landen.



decken, zweitens den Energieverlust infolge der unvermeidlichen Reibungskräfte aufzubringen. Der Energiebedarf äußert sich in einem Stirnwiderstand, ohne welchen wir auch keinen Auftrieb zu erzeugen vermögen. Bei guten Tragflächen ist der unvermeidliche Stirnwiderstand allerdings auf einen geringen Bruchteil, im besten Falle etwa auf  $\frac{1}{15}$ — $\frac{1}{20}$  des Auftriebs reduziert, aber dieser geringe Bruchteil, zu welchem naturgemäß noch die schädlichen Widerstände der nichttragenden Konstruktionsteile oder, wenn man sich, wie bei einem Hängegleiter, unmittelbar an die Flügel klammern will, der Widerstand des menschlichen Körpers hinzutritt, genügt gerade, um den Wahn, daß der Arbeitsbedarf durch Muskelkraft gedeckt werden kann, zu zerstören.

Wir schließen also alle Theorien, die diesen unvermeidlichen Arbeitsbedarf umgehen wollen, z. B. alle Theorien über einen „geheimnisvollen Vortrieb“, welche von einigen Phantasten, die ihren zweifelhaften Experimenten mehr Vertrauen schenken als den Grundsätzen der Mechanik, noch immer vertreten werden, im vorhinein aus. Es steht mir alles ferner als der Standpunkt jenes Theoretikers, der, als man auf die Widersprüche seiner Theorie mit der Wirklichkeit hingewiesen hat, sich mit dem Satz tröstete: „um so schlimmer für die Tatsachen“. Aber andererseits muß es bedacht werden, daß der Weg vom Experiment bis zur Deutung des Experimentes auch nicht frei von jeder Theorie und Spekulation ist. Um aus dem Experiment schließen zu können, muß man insbesondere wissen, welche sekundären Einflüsse mitspielen und das Resultat verschleiern können. Ich denke hauptsächlich an den kleinen Bruder eines großen Mannes, der durch zweifelhafte Experimente und durch noch zweifelhaftere Wirbeltheorien der Welt immer wieder beweisen will, daß es geheimnisvolle Tragflächenprofile gibt, welche einen geheimnisvollen Vortrieb erzeugen und somit ohne jede Energiequelle ein Schweben ermöglichen. Es wäre immerhin zu wünschen, daß jemand sich einmal die Mühe nimmt, die Experimente genau nachzumachen und auch die Irrtümer der Theorie im einzelnen nachzuweisen.

Schließen wir mit dem geheimnisvollen Vortrieb die Möglichkeit des arbeitslosen Fluges aus, so müssen wir nach einer Energiequelle suchen, welche den Segelflug der Vögel ermöglicht.

Es ist hier zunächst die sogenannte *Schwirrtheorie* des Vogelfluges zu erwähnen.

Mehrere Forscher, insbesondere von der biologischen Seite, haben auf die Möglichkeit hingewiesen, daß, während wir den Vogel unbeweglich schweben sehen, in der Wirklichkeit die Flügelenden ungemein rasche Schwirrbewegungen mit geringer Amplitude ausführen und diese Schwirrbewegungen den Energiebedarf des Fluges decken. Diese Theorie kann dadurch gestützt werden, daß es tatsächlich möglich ist, statt wie beim Flugzeug durch die rotierende Luftschraube, durch Schwingungsbewegungen einen Vortrieb zu erzeugen. Es

sind z. B. Motorboote konstruiert worden, bei welchen statt Triebsschrauben Flächen mit elastischen Enden angeordnet und durch motorische Kraft zu raschen Schwingungen erregt werden. Solche Konstruktionen haben sogar einen ganz annehmbaren Wirkungsgrad und man könnte sich denken, daß der segelnde Vogel durch einen solchen Mechanismus einen Vortrieb erzeugt und gewissermaßen als ein Drachenflugzeug mit Motorantrieb durch die Luft schwebt. Genaue Betrachtungen, insbesondere biologischer Natur, z. B. der Vergleich mit sonstigen Ermüdungsversuchen, zeigen jedoch, daß es unmöglich ist, anzunehmen, daß der Vogel fortlaufend und lange Zeit derartige Arbeitsleistungen zuwege bringt, so daß diese Theorie zur Erklärung des Segelfluges sicherlich nicht ausreichen kann.

Es bleibt also nichts anderes übrig, als, wie bereits angedeutet, die Energiequelle in den Luftbewegungen selbst zu suchen. Wir wollen zuerst einen Fall erwähnen, in welchem das mühevolle Schweben am einfachsten erklärt wird: das ist der Fall des *aufsteigenden Windes*. Nehmen wir an, daß der Wind, der in diesem Falle gar nicht ungleichförmig angenommen zu werden braucht, eine nach oben gerichtete Vertikalkomponente besitzt. Denken wir uns nun in der schief nach oben gerichteten Windströmung eine Tragfläche angeordnet. Wie oben ausgeführt wurde, äußert sich die Wirkung der durch die Tragfläche erzeugten Luftbewegung in einem Auftrieb und in einem Stirnwiderstand. Unter Auftrieb verstehen wir die Kraft, die senkrecht zu der Anblaserichtung, d. h. senkrecht zu der relativen Geschwindigkeit zwischen der Tragfläche und der umgebenden Luft gerichtet ist; unter Stirnwiderstand verstehen wir die Komponente in der der Anblaserichtung. Wenn nun der Steigungswinkel des Windes genügend groß ist, so kann man erreichen, daß die aus Auftrieb und Stirnwiderstand resultierende Luftkraft vertikal gerichtet ist und bei genügender Windstärke gleich groß dem Gewichte wird. Falls die Windrichtung genügend steil nach oben gerichtet ist, können wir (Fig. 1) sogar einen scheinbaren Vortrieb, d. h. Vortrieb gegen die Horizontale erhalten. Wir haben einen Gleichgewichtszustand, der naturgemäß unverständlich erscheint, sobald man nicht weiß, daß der Wind nach oben gerichtet ist; es geht jedoch alles mit vollkommen rechten Dingen zu, sobald man diese Tatsache berücksichtigt. In der Tat kann man oft beobachten, daß die Vögel mit Vorliebe sich an Berghängen und anderen Orten aufhalten, wo aus Gründen, welche lediglich von der Bodenbeschaffenheit abhängen, vornehmlich eine nach oben gerichtete Windkomponente herrscht, da sie an solchen Stellen sich mühelos in der Höhe erhalten können und Muße und Zeit haben, nach ihrer Beute Auslug zu halten.

Es ist auch klar, daß, wenn der Vogel bzw. das Flugzeug z. B. durch Fallen eine größere Geschwindigkeit erreicht hat als die horizontale Geschwindigkeit des Windes, so kann bei auf-

steigendem Winde ein Vorwärtsgleiten ohne Höhenverlust gegen den Wind erfolgen. Die Bedingung hierfür ist die, daß die aufsteigende Komponente des Windes wenigstens so groß ist, wie die „Sinkgeschwindigkeit“ (Höhenverlust in der Zeiteinheit) des Flugzeuges in horizontalem Wind oder in ruhiger Luft.

Wir wollen diesen Fall als „*statischen Segelflug*“ ansprechen. Der statische Segelflug bietet vom mechanischen Standpunkte aus nichts Überraschendes; seine Anwendungsmöglichkeit ist eingeschränkt, da doch die Luft nicht überall eine aufsteigende Komponente haben kann, vielmehr aus der Kontinuität der Bewegung, aus der Erhaltung der Masse folgt, daß in einem großen Gebiet genau dieselbe Luftmenge von unten nach oben als von oben nach unten strömen muß. Die Beobachtung zeigt aber, daß das mühelose Schweben oder Kreisen der Vögel keineswegs auf die Orte mit aufsteigender Luftkomponente beschränkt ist, daß vielmehr auch bei rein horizontalem Wind ein Segeln möglich ist.



Fig. 1. Schweben im aufsteigenden Winde.

Es folgt nun wieder aus mechanischen Prinzipien, namentlich aus dem Prinzip der Relativität der mechanischen Erscheinungen, daß eine gleichmäßige, horizontale Luftströmung auf die Möglichkeit des Fluges keinen Einfluß haben kann. Beziehen wir alle Bewegungen auf ein Koordinatensystem, welches mit dem gleichmäßig fortschreitenden Winde verbunden ist, so kann sich der Fall von dem des ruhenden Luftmeeres in nichts unterscheiden; mit anderen Worten, es ist naturgemäß nicht möglich, eine örtlich und zeitlich konstante Luftbewegung als Energiequelle heranzuziehen. Wir haben also als Energiequelle die *Windschwankungen* anzusprechen und es ist die Frage, ob man durch geschicktes Manövrieren diese Energiequelle wirklich nutzbar machen kann. Es ist sicher, daß die Vögel dies tun. Hierdurch wird die Gültigkeit der Helmholtzschen Betrachtungen, die wir anfangs erwähnt haben, eingeschränkt und sie müssen durch neue Überlegungen ersetzt werden, welche nicht die Arbeitsfähigkeit des betreffenden Lebewesens, sondern sozusagen die Schwankungsenergie des Windes zum Ausgangspunkt wählen, und die Möglichkeit ihrer Ausnutzung abschätzen.

Es muß zunächst hervorgehoben werden, daß die Schwankungserscheinungen beim natürlichen Wind keineswegs einen Ausnahmefall bilden, sondern ständig vorhanden sind. Der Meteorologe spricht dementsprechend von einer „*turbulenten Struktur des Windes*“. Leider sind die Gesetzmäßigkeiten bezüglich der Schwankungsausschläge in der Richtung und in der Größe der Windgeschwindigkeit, der mutmaßlichen Perioden usw., sehr schwer experimentell festzustellen und obwohl ein großes Material von verschiedenen meteorologischen Stationen mit großem Fleiß gesammelt wurde, kann man doch wenig Sicheres über die Struktur des Windes aussagen. Ich möchte nur auf den tieferen, mechanischen Grund hinweisen, welcher dafür spricht, daß eine rein parallele Windströmung ohne Schwankungen mechanisch gar nicht möglich ist.

Wir wollen den Fall etwas idealisieren und annehmen, daß die Luft mit gewisser mittlerer Geschwindigkeit an einer festen Fläche entlang strömt. Da die Fläche mit Reibung behaftet ist, wird die Luft unmittelbar an der festen Begrenzung haften, d. h. am Boden ist die Luftgeschwindigkeit gleich Null. Sie steigt mit der Höhe von Null allmählich auf den vollen Wert. Man kann den Vorgang auch so beschreiben, daß die Luftströmung durch die einseitige Begrenzung gebremst wird; von der Begrenzung aus wirkt somit eine Tangentialkraft, eine Reibungskraft auf die Luftmasse. Nun ist es klar, daß dieselbe Tangentialkraft, oder genauer gesagt, dieselbe Schubspannung, die auf dem Boden wirkt, in allen Ebenen parallel zur Begrenzungsfläche übertragen werden muß. Geschieht die Übertragung der Schubspannung ausschließlich durch die *innere Reibung* der Luft, so nennen wir die Strömung eine laminare. Die innere Reibung ist gleich dem Reibungskoeffizienten multipliziert mit dem senkrechten Gefälle der Geschwindigkeit. Nun wächst erfahrungsgemäß die Windstärke vom Boden aus zuerst sehr rasch mit der Höhe, dann aber immer langsamer. Es ist daher ein Übertragen der Schubkraft durch die innere Reibung allein höchstens in unmittelbarer Nähe der Begrenzung möglich, wo noch die Geschwindigkeit in der zur Fläche senkrechten Richtung außerordentlich schnell wächst. In einiger Entfernung vom Boden ist der Übertragungsmechanismus offenbar ein anderer, weil das senkrechte Gefälle der Geschwindigkeit mit der Höhe ständig, und zwar sehr stark abnimmt, währenddessen die zu übertragende Kraft konstant bleibt. Die andere Möglichkeit zur Übertragung der Schubspannung, falls die Reibung der aneinander vorbeiströmenden Schichten nicht ausreicht, ist die durch „*Impulsübertragung*“. Betrachten wir die Luftmasse zwischen der festen Begrenzung *AB* und zwischen einer willkürlich gewählten Begrenzung *CD* in der Entfernung *h* (Fig. 2), wobei wir die Höhe *h* so groß wählen, daß an der oberen Begrenzung die Windgeschwindigkeit mit der Höhe nur mehr



sehr langsam wächst. Die in dem Raum  $ABCD$  enthaltene Luftmasse muß offenbar im Gleichgewicht sein. Nun gilt nach dem Impulssatze für jedes begrenzte Luftvolumen bei stationärer Strömung (oder bei quasi stationärer Strömung, wenn wir über längere Zeit Mittelwerte nehmen), daß die an den Begrenzungsflächen wirkenden Kräfte mit dem Überschuß der aus- und eintretenden Impulsmengen im Gleichgewicht sein müssen. Da die Impulsmengen an den vorderen und hinteren Stirnflächen  $AC$  und  $BD$  des betrachteten Volumens über lange Zeiten genommen gleich sind, kommt nur der Impulstransport an der oberen Begrenzungsfläche  $CD$  in Betracht. Wenn wir also von der inneren Reibung an der Fläche  $CD$ , wo die Geschwindigkeitsänderung nach der Höhe sehr gering ist, absehen, muß an dieser Fläche in der Sekunde eine Impulsmenge austreten, welche genau gleich ist der Reibungskraft, die von der festen Begrenzung aus auf die Luftmenge wirkt. Bezeichnen wir die Geschwindigkeitskomponenten in horizontaler und vertikaler Richtung mit  $u$  und  $v$  und die Luftdichte mit  $\rho$ , so ist die nach der Windrichtung gerichtete Impulskomponente der Volumeneinheit

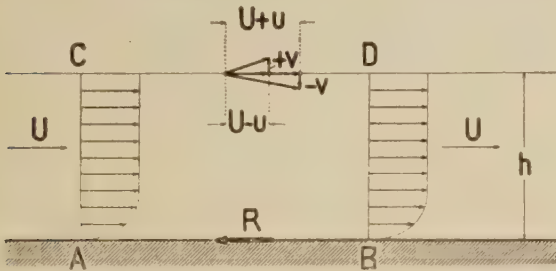


Fig. 2. Übertragung der Schubkraft durch „Impuls“.

$\rho u$ , und da durch die Flächeneinheit das Volumen  $v$  austritt, so ist die durch die Flächeneinheit durchtretende Impulsmenge gleich  $\rho u v$ . Bezeichnen wir die Reibungskraft für die Flächeneinheit, d. h. die Schubspannung mit  $R$ , so muß die Gleichung gelten:

$$-R = \rho \overline{u v}$$

wobei der Strich eine zeitliche Mittelwertbildung bedeutet. Wir sehen also, daß ein stationärer Zustand nur dann möglich ist, wenn der Wind wechselnde vertikale Komponenten hat, und zwar derart, daß in Augenblicken oder an Stellen, wo die Windgeschwindigkeit in der Horizontalrichtung vergrößert ist, eine nach unten gerichtete, und in dem Augenblick oder an Stellen, wo die horizontale Windgeschwindigkeit vermindert wird, eine nach oben gerichtete Windkomponente vorherrscht. Nur in diesem Falle können wir einen negativen Mittelwert für  $\overline{u v}$  erhalten, welcher die Übertragung der Schubspannung bewerkstelligen kann.

Diese Betrachtung ist für alle diejenigen Leser, welche mit der kinetischen Gastheorie einigermaßen vertraut sind, wohl bekannt. Sie enthält denselben Gedankengang, durch welchen

Maxwell und Boltzmann aus der ungeordneten Bewegung der Moleküle die Gesetze der inneren Reibung der Gase abgeleitet haben. Die Erscheinung, die wir als innere Reibung der Flüssigkeit oder des Gases ansprechen und welche wir als laminare Reibung bezeichnet haben, ist ebenfalls Impulsübertragung, namentlich eine Impulsübertragung infolge der ungeordneten Bewegung der Moleküle, während die Impulsübertragung, welche wir im Gegensatz zu der laminaren inneren Reibung als *turbulente Reibung* bezeichnen wollen, in den meßbaren Abmessungen vor sich geht. Wir haben daher zwei Arten übereinander gelagerter, ungeordneter Bewegungen: erstens die ungeordnete Bewegung der Moleküle, welche die laminare Reibung der aneinander vorbeiströmenden Schichten zur Folge hat; zweitens eine ungeordnete Bewegung von sichtbarer und meßbarer Größenordnung, die sogenannte turbulente Unordnung, welche durch Impulsübertragung die innere Reibung scheinbar vergrößert bzw. die Übertragung einer Schubspannung auch in den Fällen ermöglicht, wo das senkrechte Gefälle der mittleren Geschwindigkeit dazu nicht ausreicht.

Wir sehen also, daß die turbulente Struktur des Windes keineswegs ein Ausnahmefall ist, sondern in dem Wesen der Luftbewegung liegt, so daß außer dem seltenen Falle der Windstille stets eine mächtige Schwankungsenergie in der Luft enthalten ist.

Die Aufgabe der Theorie ist nun zu untersuchen, in welcher Weise ein Teil dieser Schwankungsenergie dem Winde entzogen werden kann.

Um den Vorgang zu veranschaulichen, kann man ein Beispiel aus der Punktmechanik heranziehen, welches gewisse Analogie mit unserem Problem aufweist.

Man denke sich eine wellenförmige Fläche, an welcher ein Massenpunkt sich bewegen kann<sup>2)</sup> (Fig. 3). Ist die wellenförmige Unterlage in Ruhe, und vernachlässigen wir die Reibung, so wird ein Massenpunkt, den ich z. B. im Punkte  $C$  mit der Anfangsgeschwindigkeit Null loslasse, Pendelbewegungen ausführen zwischen  $C$  und einem Punkte auf dem aufsteigenden Aste, welcher genau in derselben Höhe liegt. Es fragt sich nun, was geschieht, wenn ich die wellenartige Unterlage in Schwingungsbewegungen versetze? Man kann zeigen, daß man bei geeigneter Wahl der Periode und der Phase dem Massenpunkte Energie übertragen kann, so daß z. B. der Punkt die einzelnen Berge von immer wachsender Gipfelhöhe überschreitet. Die Schwingungsbewegung, das Rütteln der Unterlage dient als Energiequelle für den Massenpunkt, welche von dieser Energiequelle Arbeitsleistung zu entziehen vermag.

Ich will das Beispiel noch etwas vereinfachen, indem ich die Unterlage aus geradlinigen

<sup>2)</sup> Diese Anordnung haben zur Veranschaulichung des Segelfluges A. Bazin und W. Lanchester unabhängig voneinander angegeben.

Stücken zusammensetze (Fig. 4) und die geradlinigen Stücke mit kurzen Kreisbögen verbinde, wobei angenommen werden kann, daß die zur Umlenkung nötige Zeit vernachlässigbar klein ist gegen die Zeit, welche der Massenpunkt braucht, um an den schiefen Ebenen herunter- oder hinaufzugleiten. Ferner nehme ich die oszillierende Bewegung derart an, daß dem System abwechselnd eine konstante positive oder negative Beschleunigung von derselben Größe erteilt wird. Die Unterlage wird z. B. während der Zeit  $T$  mit der Beschleunigung  $b$  nach rechts gleichfö-

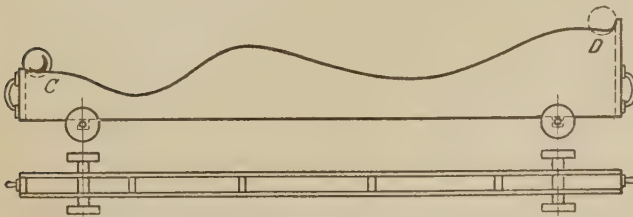


Fig. 3. Wellenförmige Unterlage, durch deren geeignete Hin- und Herbewegung man auf die Kugel  $C$  Energie übertragen kann, so daß sie dabei an Höhe gewinnt. (Auf das Problem des Segelfluges übertragen, entspricht die Kugel dem segelnden Vogel, die wellenförmige Bahn der Flugbahn, und die wechselnde Geschwindigkeit des Wagens stellt die veränderliche Windgeschwindigkeit vor.)

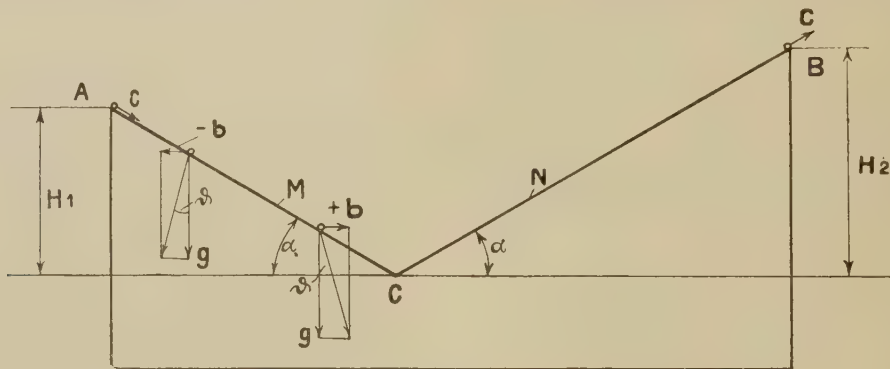


Fig. 4. Zur Erläuterung des durch Fig. 3 dargestellten Vorganges.

mig beschleunigt, alsdann ändert sich die Beschleunigung plötzlich und während desselben Zeitraumes  $T$  wird nun der Unterlage die konstante Beschleunigung  $b$  nach links erteilt. Wir wollen zeigen, daß bei geeigneter Wahl der Phase der Beschleunigung der am Gipfelpunkte  $A$  mit der Anfangsgeschwindigkeit  $c$  losgelassene Massenpunkt mit derselben Geschwindigkeit den höher befindlichen Gipfelpunkt  $B$  erreicht. Da die kinetische Energie dieselbe geblieben ist, so muß die der Höhendifferenz zwischen  $A$  und  $B$  entsprechende Hubarbeit von der Schwingungsbewegung der Unterlage herrühren.

Die Rechnung ist einfach, und so will ich sie in extenso durchführen:

Den gemeinsamen Neigungswinkel der beiden schiefen Ebenen (Fig. 4) bezeichne ich mit  $\alpha$ . Die Zeit, welche notwendig ist, daß der Punkt von

$A$  bis zum Tiefpunkt  $C$  gelangt, soll mit  $t_1$  bezeichnet werden; die Zeit, in welcher der Punkt zum Gipfelpunkt  $B$  steigt, mit  $t_2$ . Es ist daher:

$$t_1 + t_2 = 2T.$$

Die Beschleunigungen sollen so verteilt werden, daß von  $t = 0$  angefangen bis  $t = T$  die Beschleunigung  $b$  herrscht, dann von  $t = T$  bis  $t = T + T$  die Beschleunigung  $-b$ , schließlich von  $t = T + T$  bis  $t = 2T$  wieder die Beschleunigung  $b$ . Die Lagen, welche der Massenpunkt beim Wechsel der Beschleunigungen einnimmt, sollen mit  $M$  und  $N$  bezeichnet werden.

Wir wollen zunächst die mechanische Aufgabe ins Auge fassen: ein Massenpunkt, welcher sonst nur der Wirkung der Schwere ausgesetzt ist, bewege sich an einer schiefen Ebene, während die letztere eine horizontale Beschleunigung vom Betrage  $b$  erfährt. Betrachten wir die Bewegung des Massenpunktes *relativ* zur schiefen Ebene, so kann man nach einer, im Zeitalter der Relativitätstheorie wohl geläufigen Auffassung, sagen: der Punkt bewegt sich so, als wenn die Schwere durch die Resultierende der eigentlichen Schwere und der Zusatzkraft  $-mb$  ersetzt würde. Für die Bewegung gelten also die gewöhnlichen Gleichungen der Bewegung an der schiefen Ebene, nur ist als Beschleunigung der Schwere eine Größe

vom Betrage  $\frac{g}{\cos \vartheta}$  unter der Neigung  $\vartheta$  einzusetzen, wobei  $\vartheta$  durch die Gleichung:

$$-\tan \vartheta = \frac{b}{g}$$

gegeben ist.

Auf dieser Grundlage stellen wir zunächst die Bedingung auf, daß nach Ablauf der Zeit  $2T$ , d. h. im Gipfelpunkt  $B$  die Geschwindigkeit denselben Wert hat, wie im Punkt  $A$ . Eine einfache Rechnung liefert:

$$t_1 = t_2 = T$$

d. h. der Punkt legt die Strecke  $AC$  in derselben Zeit zurück als die Strecke  $CB$ .

Nun können wir den Verlauf der Geschwindigkeit leicht ermitteln. Die Geschwindigkeit ist stets eine lineare Funktion der Zeit, nur sind



die Beschleunigungen für alle Teilstrecken  $AM$ ,  $MC$ ,  $CN$ ,  $NB$  verschieden. Fig. 5 stellt die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit dar, wobei für die einzelnen Teilstrecken die Werte der tangentiellen Komponenten der Beschleunigung eingetragen sind. Das Zeitintegral der Geschwindigkeit, d. h. die Fläche zwischen Abszissenachse und dem gebrochenen Linienzug liefert den zurückgelegten Weg. Bezeichnen wir die Strecke  $AC$  mit  $s_1$ , die Strecke  $CB$  mit  $s_2$ , die

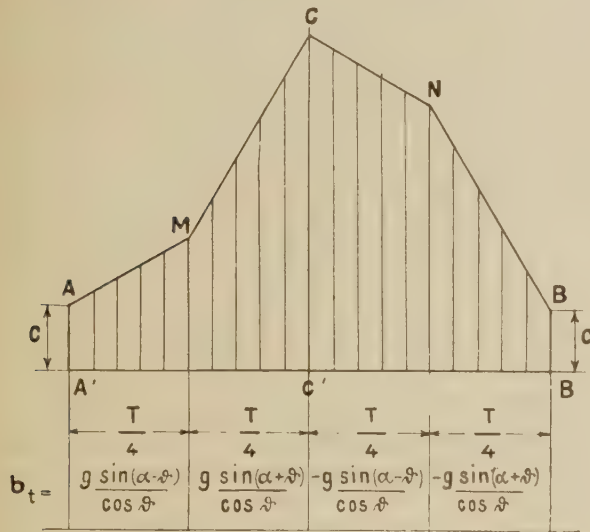


Fig. 5. Zur Erläuterung des durch Fig. 3 dargestellten Vorganges.

Anfangsgeschwindigkeit mit  $c$ , so haben wir offenbar aus Fig. 5:

$$s_1 = cT + \frac{g}{\cos \theta} \sin(\alpha - \theta) \frac{3T^2}{8} + \frac{g}{\cos \theta} \sin(\alpha + \theta) \frac{T^2}{8}$$

$$s_2 = cT + \frac{g}{\cos \theta} \sin(\alpha + \theta) \frac{3T^2}{8} + \frac{g}{\cos \theta} \sin(\alpha - \theta) \frac{T^2}{8}$$

Die Höhen  $h_1$  und  $h_2$  drücken sich durch die Formeln:

$$h_1 = s_1 \sin \alpha$$

$$h_2 = s_2 \sin \alpha$$

aus, so daß der Höhengewinn  $h = h_2 - h_1$

$$h = (s_2 - s_1) \sin \alpha = \frac{g \sin \alpha \cos \alpha \sin \theta T^2}{2 \cos \theta}$$

beträgt. Der Höhengewinn ist offenbar am größten, falls  $\alpha = 45^\circ$  ist. Wir erhalten für diesen Fall:

$$h_{\max} = \frac{g}{4} \operatorname{tg} \theta = \frac{b T^2}{4}$$

Nun ist  $bT = w$  die maximale Geschwindigkeit der Unterlagsfläche bei der oszillierenden Bewegung. Schreiben wir die Formel für  $h_{\max}$  in der Form:

$$h_{\max} = \frac{w T}{4} \quad \text{oder} \quad \frac{h_{\max}}{T} = \frac{w}{4}$$

so erhalten wir das einfache Resultat, daß der Höhengewinn in der Zeiteinheit, d. h. die *mittlere Steiggeschwindigkeit* im günstigsten Falle den vierten Teil der größten „*Böengeschwindigkeit*“  $w$  beträgt.

Der Verlauf der Bewegung ist folgendermaßen: der Punkt gleitet an der schiefen Ebene herunter, während die Ebene in derselben Richtung mitbewegt wird. Der Beschleunigungswechsel, d. h. das Maximum der Mitführungsgeschwindigkeit erfolgt in der halben Zeit der Abwärtsbewegung. Wenn der Punkt im Tal ankommt, wechselt gerade der Bewegungssinn der Unterlage, die schiefe Ebene  $CB$  wird *gegen den Punkt* in Bewegung gesetzt. Durch diesen Wechsel des Bewegungssinnes gelangt der Punkt höher als sein Ausgangspunkt  $A$  gewesen.

Noch überzeugender als das vorangehende Ex-

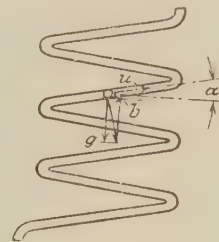


Fig. 6. Zur Ausführung des durch Fig. 3 angedeuteten Versuches in anderer Form.

periment ist das folgende (Fig. 6): Man denke sich ein Rohr zickzackförmig gebogen. Ich setze eine Kugel in das Rohr an dem unteren Ende und erteile dem System eine Schwingungsbewegung in horizontaler Richtung. Sobald das schief ansteigende Rohr gegen die Kugel beschleunigt wird, so wird diese nach oben in Bewegung gesetzt. Beschleunige ich das Rohr ständig mit einer Beschleunigung  $b$ , welche so gewählt ist, daß die Resultierende von  $b$  und der Beschleunigung der Schwere  $g$  senkrecht zur Rohrachse gerichtet ist, so wird die Kugel, abgesehen von der Reibung, ihre Geschwindigkeit behalten. Man braucht nun bloß die Phase so einzurichten, daß die Beschleunigung gerade die Richtung wechselt, wenn die Kugel umkehren muß, so wird die letztere mit konstanter Geschwindigkeit an der Treppe hinaufklettern. Man kann das Experiment geschickter so einrichten, daß man das Rohr spiralförmig biegt, wie es in Fig. 7 dargestellt ist. erteilt man dem System eine wechselnde Beschleunigung in horizontaler Richtung und trifft man die Phase einigermaßen richtig, so erscheint die Kugel alsbald in der oberen Windung zum sichtbaren Beweis, daß man durch die schwingungsartige Bewegung an die Kugel beliebige Arbeitsleistung zu übertragen vermag. Alles bisher Gesagte gilt auch naturgemäß für Bewegungen an

reibender Unterlage. Man kann z. B. statt einen Höhengewinn zu erzielen, die aus der schwingenden Bewegung der Unterlage gewonnene Energie zur Überwindung von Reibungsarbeit verwenden.

Es liegt nahe, diese einfachen mechanischen Experimente auf den Fall des Fluges bei schwankender Windgeschwindigkeit zu übertragen.

Zuerst das Analogon zu dem Fall der schwingenden, wellenartigen Unterlage kann so gedacht werden, daß ein Flugzeug das Luftmeer durchschreitet, wobei die Windstärke ständig periodischen Änderungen unterworfen ist. Das Flugzeug wird in diesem Falle eine wellenartige Bahn beschreiben müssen. Durch Änderung des Anstellwinkels der Tragfläche ist der Flugzeughführer in der Lage, seine Bahn und die auf das Flugzeug übertragenen Kräfte nach der Schwankung der Windgeschwindigkeit zu regeln: er ist dann in der Lage, den Wechsel von verstärktem



Fig. 7. Zur Ausführung des durch Fig. 6 angedeuteten Versuches in anderer Form.

Gegenwind und Mitwind so auszunutzen, daß er nach Ablauf jeder Schwankung weder an Geschwindigkeit noch an Höhe verloren hat. Im ganzen und großen wird er trachten bei Mitwind durch Fallen an Geschwindigkeit zu gewinnen und bei Gegenwind sich wieder hochtragen lassen. Ganz analog wie bei mechanischen Beispielen der Massenpunkt Wellenbewegungen beschreibt und an der schwingenden Unterlage immer höher schreiten kann oder an der reibenden Unterlage ohne Höhenverlust sich weiterbewegt, wird in diesem Falle die von den Geschwindigkeitsschwankungen des Windes entzogene Arbeit den Energieverlust infolge Luftwiderstand decken oder auch Hubarbeit leisten.

Noch einfacher läßt sich das zweite Beispiel auf den Fall des Fluges übertragen. Man denke sich wieder periodische Änderungen der Windgeschwindigkeit. Da eine konstante Geschwindigkeit entsprechend dem Relativitätsprinzip der Mechanik nicht von Einfluß sein kann,

so können wir uns auch denken, daß wir abwechselnd Windstöße nach rechts und links haben. Richtet man nun den Flug so ein, daß das Flugzeug fortwährend die Richtung ändert, und zwar so, daß es möglichst immer Gegenwind hat, so kann der Flieger den Gegenwind stets zum Heben des Flugzeuges benutzen. In den Zwischenzeiten, wo das Flugzeug umgelenkt wird, geht natürlich Höhe verloren. Sind aber die Windstöße genügend kräftig, so kann es erreicht werden, daß der Höhenverlust und der Höhengewinn sich ausgleichen, ja, daß sogar ein ständiger Höhengewinn zustande kommt. Das Flugzeug schraubt sich kreisend in die Höhe. Es ist klar, daß, je kleiner die Ausdehnung des Flugkörpers und je größer seine Beweglichkeit ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, daß die Windstöße an Intensität zu diesem Zwecke genügen. Es ist also klar, daß für den Vogel das ganze Manövrieren ungemein leichter ist als für ein Flugzeug, welches einen Menschen tragen soll. Es ist aber reizvoll zu versuchen, ob überhaupt, wenn auch in sehr beschränktem Maße, ein ähnliches Verfahren für den fliegenden Menschen innerhalb der Möglichkeiten liegt.

Wie wir für die Schwankung der Windgeschwindigkeit gezeigt haben, so kann fast jede Art zeitlicher und örtlicher Schwankungen im ähnlichen Sinne zur Entziehung von Energie mehr oder weniger nutzbar gemacht werden<sup>3)</sup>.

Den Einfluß von *Richtungsschwankungen* haben in einfacher Weise R. Knoller und A. Betz untersucht. Am einfachsten ist die Frage folgendermaßen zu stellen: man denke einen Tragflügel in einer gegebenen unveränderten Lage gegen die mittlere, horizontale Windrichtung, man nehme jedoch an, daß die augenblickliche Windrichtung Schwankungen um die mittlere Richtung unterworfen ist. Es fragt sich, wie ist die mittlere Resultierende der Luftkraft gerichtet? Man kann alsdann durch eine Mittelwertbildung zeigen, daß dieser zeitliche Mittelwert unter Umständen nicht nur keinen Rücktrieb liefert, sondern auch einen geringen Vortrieb in der horizontalen Richtung ergeben kann. Man kann dieses zunächst etwas paradox klingende Ergebnis veranschaulichen, indem man die Frage etwa so vereinfacht, daß man nur zwei wechselnde Windrichtungen in Fig. 8 mit  $\pm \beta^\circ$  Neigung annimmt. Wählen wir z. B. bei einem bestimmten Profil den Anstellwinkel gegen die Horizontale (d. h. den Winkel zwischen der Sehne des Tragflügels und der Wagerechten) zu  $\theta$ , so ist der effektive Anstellwinkel abwechselnd  $\theta + \beta$  und  $\theta - \beta$ . Fig. 8 zeigt die Lage und relative Größe der Luftkräfte entsprechend den zwei Anblaserichtungen. In beiden Fällen ergibt sich natürlich in der augenblicklichen Anblaserichtung ein Rücktrieb. Die Auftriebskraft

<sup>3)</sup> Auf eine Möglichkeit, statt der zeitlichen Schwankung aus örtlicher Verschiedenheit der Windstöße Nutzen zu ziehen, hat Lord Rayleigh hingewiesen.



ist jedoch bei Aufwind nach vorne, bei Abwind nach hinten geneigt, und da sie im ersten Falle viel größer ist als im zweiten Falle, so überwiegt die Wirkung der nach vorne geneigten Auftriebskomponente und man erhält im Mittelwerte einen scheinbaren Vortrieb gegen die mittlere Windrichtung. Diese Wirkung kann erheblich vergrößert werden, falls die Tragflügel immer in eine günstigste Lage gegen die augenblickliche Windrichtung gestellt werden.

Wie weit beim Segelflug des Vogels die Ausnutzung der Schwankungen in der Windstärke oder in der Windrichtung überwiegt, kann schwer entschieden werden, zumal die beiden Schwankungsarten nicht getrennt, sondern gemischt auftreten. Es kann jedoch als sichergestellt angesehen werden, daß ein „dynamischer Segelflug“, d. h. ein Flug ohne Höhenverlust bei mittlerer, horizontaler Windrichtung auf Kosten der in den Windschwankungen enthaltenen Energie theoretisch durchaus möglich ist.

Die hauptsächlichste praktische Schwierigkeit in der Verwirklichung des dynamischen Segelflugs durch bemannte Flugzeuge liegt meines Erachtens in folgendem Umstand: Der „Segel-effekt“, d. h. der aus den Windschwankungen entnommene Energiegewinn wächst mit dem Verhältnis der Windschwankung zur Fluggeschwindigkeit, d. h. zur Schwebegeschwindigkeit des

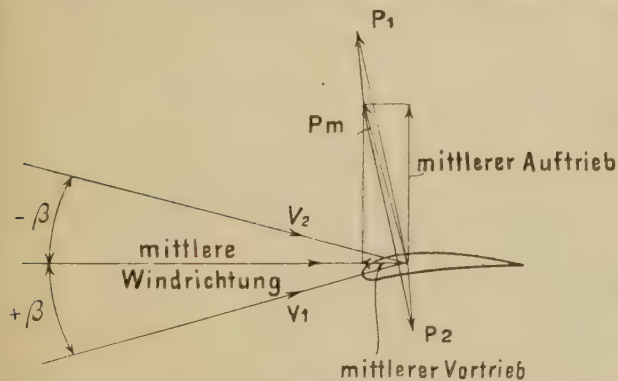


Fig. 8. Zur Untersuchung des Einflusses von Richtungsschwankungen des Windes.

Flugzeugs. Diese letztere ist jene Geschwindigkeit, welche zur Erzeugung des Auftriebes nötig ist; sie ist in erster Linie abhängig von der „Flächenbelastung“, d. h. davon, wie viel Gewicht die Flächeneinheit des Flügels zu tragen hat. Setzt man die Flächenbelastung und damit die Schwebegeschwindigkeit herunter, so hat man viel mehr Hoffnung, Böen und sonstige Schwankungen nutzbar zu machen. Andererseits aber werden mit Verminderung der Flächenbelastung bei demselben Gewicht die Tragflügel größer. Wenn aber die Abmessungen eines Flugzeuges sehr groß sind, so kann es natürlich nur die Böen von großer Ausdehnung ausnützen, d. h. man verdirbt wieder die Chancen des dynamischen Segelns. Man sieht aber, daß infolge der Unregelmäßigkeit der Windschwankungen das Er-

reichen des „Segeleffektes“ außer den Flugzeugeigenschaften in erster Linie von der Übung und der Geschicklichkeit des Flugzeugführers abhängt, und es ist deshalb von großem Interesse, was bei den nun schon in zwei aufeinanderfolgenden Jahren abgehaltenen Wettbewerben in der Rhön erreicht wurde.

Der erste Wettbewerb im Jahre 1920 brachte in erster Linie schöne Gleitflüge; unter diesen war die bemerkenswerteste Leistung W. Klemperers Flug von der Wasserkuppe nach der Ort-



Fig. 9. Segelflug Klemperers auf der „Blauen Maus“ (Hochschule Aachen).

schaft Tränkhof, welcher die vor dem Krieg erreichte Höchstleistung für Flugstrecke ohne Motor mehr als verdoppelte. Die Flugzeit betrug etwa 2½ Minuten. Das Flugzeug, ein freitragender Eindecker, mit Kufen als Landungsgestell, wurde auf meine Anregung im Aerodynamischen Institut der Technischen Hochschule Aachen zum großen Teil von Studenten nach Klemperers Entwürfen gebaut. Mit Rücksicht auf seine schwarze Bespannung wurde er als „schwarzer Teufel“ getauft. Das Eigengewicht des Flugzeuges betrug 61 kg. Nach seinem schönen Gleitflug hat Klemperer einige Versuchsflüge zur Verwirklichung des Segelfluges ausgeführt, es gelang ihm auch, ungefähr eine Minute lang an einem Bergabhang fast an Ort und Stelle zu schweben, wobei er vom auf-

steigenden Wind etwa 15 m über den Abflugort gehoben wurde. Dieser Flug war lediglich als statischer Segelflug anzusprechen und als solcher sicherlich ein verheißender Anfang.

Die Erwartungen wurden durch den diesjährigen Wettbewerb nicht getäuscht. Es war vielleicht nicht Zufall, daß nach dem Aachener Beginnen gerade die Hochschulstädte (München, Hannover, Stuttgart) mit erfolgreichen Apparaten vertreten waren. Die Flüge während des Wettbewerbs selbst waren zum größten Teil eben-

rücksichtigt man, daß die in Betracht kommenden Flugzeuge eine Schwebegeschwindigkeit von 10—15 m/sec haben, so mußte das Flugzeug unter Zugrundelegung einer sehr guten Gleitzahl von 1 : 14 in der Sekunde 75—100 cm Höhe verlieren, während Sinkgeschwindigkeiten (z. B. für das Aachener und Münchener Flugzeug) von 45 cm/sec erreicht worden sind. Das Segeln am Berghang im aufsteigenden Wind, das Schweben an Ort und Stelle hat insbesondere wieder *Klemperer* mehrmals erfolgreich vor-



Fig. 10. Segelflugzeug der Technischen Hochschule Aachen.

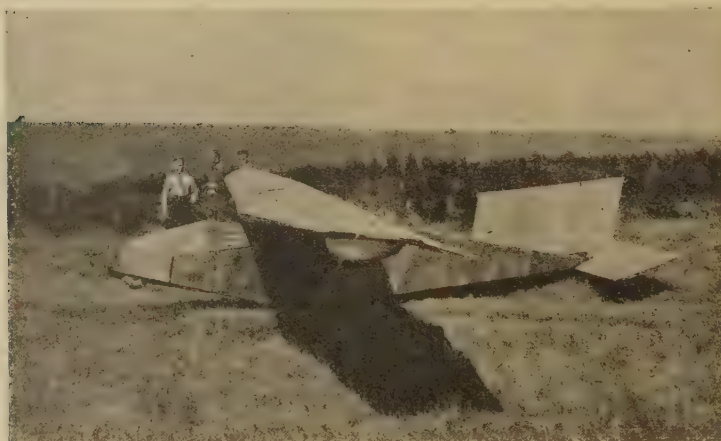


Fig. 11. Segelflugzeug der akademischen Fliegergruppe Hannover.

falls als Gleitflüge zu betrachten, wobei insbesondere der Apparat der Hochschule in Hannover durch einen sehr guten flachen Gleitwinkel sich auszeichnete. Aber auch bei diesen Gleitflügen haben fast immer das statische Segeln, sehr oft auch dynamische Manöver dazu beigetragen, Flugstrecke und Flugzeit gegenüber dem reinen Gleitflug erheblich zu vergrößern. Dies ist schon aus den ganz langsamen Sinkgeschwindigkeiten klar, welche erreicht worden sind. Be-

geführt. (Die Aachener Hochschule ist diesmal außer dem „schwarzen Teufel“ mit der „blauen Maus“ erschienen.)

Den größten Erfolg für die Lösung des „Segelflugproblems“ brachten einige Flüge nach Schluß des offiziellen Wettbewerbs (ein Beweis dafür, wie sehr es auf die Übung der Flugzeugführer ankommt). Am 30. August hat *Klemperer* einen Flug von der Wasserkuppe nach der etwa 5 km entfernt liegenden Ortschaft Gersfeld ausgeführt.



Die Schwierigkeit bei diesem Flug bestand darin, daß zwischen der Wasserkuppe und Gersfeld mehrere Bergrücken liegen, welche kaum niedriger sind als die Wasserkuppe selbst. Inzwischen kann man nicht nur nicht immer auf aufsteigende Winde rechnen, sondern sogar auf starke abwärts ziehende Strömungen gefaßt sein. Der

Möglichkeit eines längeren Segelns (Gesamtflugzeit über 13 Minuten) bewiesen<sup>1)</sup>.

Die beim Wettbewerb erfolgreichen Flugzeuge waren grundsätzlich, insbesondere was ihr Stabilisierungsprinzip anbelangt, nach denselben Regeln gebaut wie die normalen Drachenflugzeuge. Nur sind die Möglichkeiten des Leichtbaus bei der



Fig. 12. Segelflugzeug mit Flügelsteuerung kurz nach Start. (Flugzeug des bayer. Aeroclubs, Pilot Koller.)



Fig. 13. Hängegleiter im Fluge.

Flieger muß also sich erst emporarbeiten, um die nächsten Bergrücken zu überfliegen. Dies erreichte Klemperer, indem er einerseits durch Schweben am Bergabhang in Kurven und Schleifen sich bewegte, andererseits Böen ausnutzte, indem er durch diese sich hochtragen ließ und soviel Höhe gewann, daß er 10 Minuten nach Abflug noch immer die ursprüngliche Höhe innehatte und dann erst in das Tal hinunterglitt, um an seinem Zielort zu landen. Damit war die

<sup>1)</sup> Einige Tage darauf hat Martens an dem Hannoveranerflugzeug eine ähnliche Leistung vollbracht (Flugzeit 15 Minuten); diese Leistung wurde dann, allerdings ohne objektive Zeugen, von Harth, einem alten Vorkämpfer des Segelfluggedankens, durch einen Flug von 21 Minuten ebenfalls überholt. Leider folgte diesem Fluge ein ziemlich schwerer Sturz mit demselben Apparat. In neuerer Zeit hat bei viel ungünstigeren Geländebedingungen Koller bei Pähl im bayerischen Hochland mit dem in Fig. 12 dargestellten Flugzeug schöne Segelflüge bis  $2\frac{1}{2}$  km Länge mit nur 80 m Höhendifferenz vollführt.

Konstruktion von Segelflugzeugen bis zum Extremsten ausgenutzt. Die erfolgreichen Maschinen wogen flugfertig 50—90 kg. Die größte Abmessung (die „Spannweite“) variierte etwa zwischen 9—13 m. Bei den meisten Apparaten war auch die Steuerung ähnlich wie bei Motorflugzeugen. Eine Ausnahme bildete das von E. v. Lösch und A. Finsterwalder konstruierte Flugzeug des Bayer. Aeroklubs, bei welchem, statt Höhenruder und Querruder, die Tragflügel selbst verdreht wurden. Außer diesen den Flugtechnikern geläufigen Typen sind zunächst die Hängegleiter zu erwähnen, welche recht hübsche Gleitflüge ausführten; die Steuerung bewirkt bei diesen der Flieger ganz oder teilweise durch Verstellung des eigenen Körpers. Für den Segelflug kamen bisher diese Hängegleiter nicht in Betracht, sie sind

ren Flügelhälften. Der Apparat, der nach Art einer Möve mit sehr langen schmalen Tragflügeln versehen war, hat einen schönen Flug ausgeführt, welcher sicherlich als Segelflug anzusprechen war, nach einer Minute Flugzeit jedoch durch einen Todessturz jäh abgebrochen wurde. Da das Flugzeug infolge unvollkommenen statischen Aufbaues in der Luft die Flügel verlor, konnte man sich kein endgültiges Urteil über Stabilität und Steuerfähigkeit bilden. Sicher ist es, daß kleine Modelle dieser Art sich wunderschön durch den Wind tragen lassen; ob nach dem Prinzip windtüchtige Flugzeuge sich bauen lassen, muß erst abgewartet werden.

Der erwähnte Unglücksfall war der einzige ernste Fall während des Wettbewerbs. Die erfolgreichen Maschinen hatten so gut wie gar keine Schäden erlitten. Sie zeichneten sich vielmehr



Fig. 14. Der „Weltensegler“.

jedoch infolge Einfachheit und Billigkeit zum reinen Gleitersport sehr geeignet; man kann sie als Sportzeuge mit dem Rodelschlitten vergleichen. Mit höherem Ehrgeiz sind einige Segler erschienen, die es zumeist auf eine Imitation des Mechanismus des Vogelflugs abgesehen haben, wobei aber die Nachahmung meistens in reichlich naiver Weise auf Äußerlichkeiten oder auf die Art der Steuerung sich beschränkt. Mehr Aufmerksamkeit als diese erfinderischen Leistungen verdiente der einzige „schwanzlose“ Apparat, der den etwas anmaßenden Namen eines „Weltenseglers“ trug. Während alle anderen Flugzeuge, wie die Motorflugzeuge im allgemeinen, ihre Stabilität durch außerhalb der Tragflügel angeordnete Dämpfungsflächen (Schwanzflächen) erreichen, hat dieses Flugzeug dasselbe Ziel durch eine starke Rückwärtsbiegung und etwas Aufwärtsbiegung der äußeren Flügelhälften erreicht. Die Steuerung geschieht durch Verdrehung der äußeren

durch bemerkenswerte Betriebssicherheit aus. Der Start erfolgte zumeist so, daß zwei bis vier Leute die Maschine in Bewegung setzten; bei geringem Wind brauchten sie nur einige Schritte zu laufen, und das Flugzeug hob sich ab. Die Landung erfolgte zumeist auf Kufen, die sich bei schwierigen Geländebedingungen sehr gut bewährten. Die Flieger landeten an Stellen, welche als Landungsplätze für Motorflugzeuge ganz unmöglich wären. Ein eigenartiges Landungsgestell hatte das Flugzeug der akademischen Fliegergruppe Hannover, welches auf pneumatisch federnde Bälle landete.

In technischen Fragen und insbesondere auf dem Gebiete der Flugtechnik ist das Prophezeien schwer und undankbar. Es kann jedoch bereits heute festgestellt werden, daß — ganz abgesehen von der großen Anzahl theoretischer Forschungsarbeiten, welche durch das Segelflugproblem angeregt worden sind — der motorlose



Flug schon jetzt eine reizvolle Sportbetätigung darstellt; von konstruktiv-technologischem Standpunkte aus ist der auf die Spitze getriebene „Leichtbau“ von großem Interesse. Für die Entwicklung der ganzen Flugtechnik ist aber von Wichtigkeit, daß gegenüber der maßlosen Steigerung der Motorstärke der Kriegsflugzeuge einmal der andere Grenzfall vor Augen geführt wurde; wir lernen daraus, daß die letzte Weisheit nicht darin besteht, durch riesige Motorreserve sich von Wind und Böen unabhängig zu machen; Wind und Böen kann der Flieger unter Umständen auch nützlich verwerten.

So bildet wahrscheinlich der motorlose Flug auch den verheißungsvollen Anfang einer neuen Richtung in der Kunst des Fliegens.

## Die Phylogenie der Getreide.

Von Elisabeth Schieman, Potsdam.

Zu dem Problem, dem diese Zeilen gewidmet sind, ist man geneigt, in *Hehns* „Kulturpflanzen und Haustiere“ Auskunft zu suchen, und ist überrascht, dort so gut wie nichts über die Abstammung der Getreide zu erfahren. Einige wenige Angaben über die Gerste finden sich in dem Kapitel über das Bier; etwas mehr steht in den dem Werke angefügten Anmerkungen, als „einige zerstreute Beiträge zu der alten Ackerbausprache, als eine nicht zu verachtende Ergänzung zu den Untersuchungen der Naturforscher über Herkunft und Vaterland der Getreidearten“. Im übrigen verweist *Hehn* auf *Humboldts* Darstellung in den „Ansichten der Natur“. Dort heißt es: „Der ursprüngliche Wohnsitz der mehrlreichen Grasarten ist mit dem der Haustiere, die den Menschen seit seinen frühesten Wanderungen begleiten, in dasselbe Dunkel gehüllt.“ Es folgt eine Kritik von Reiseberichten aus Osteuropa und Westasien, in denen über das Vorkommen wilder Getreide berichtet wird; *Humboldt* hält alle diese Funde für solche von verwilderten Pflanzen mit alleiniger Ausnahme der Angaben von *Carl Koch*, „der im pontischen Gebirge in 5—6000 Fuß Höhe viel wilden Roggen fand und im Schirwanschen Teile des Kaukasus eine Gerstenart, die er *Hordeum spontaneum* benennt und für das ursprünglich wilde *Hordeum zeocriton* Linn. hält“.

„Mehr als bei *Humboldt* enthalten ist“, sagt *Hehn* 1870, „läßt sich über diesen Gegenstand heute nicht sagen.“ Was er selber bringt, sind Erläuterungen der Namen und ihrer Wanderungen und Wandlungen durch die europäischen Sprachen hindurch, aus denen sich ja allerdings Schlüsse auf die Wanderungen der Pflanzen selber ziehen lassen.

Am weitesten in die Urgeschichte zurück reichen Weizen und Gerste; sie finden sich in allen Funden der Pfahlbauten, sie sind Bestandteile des ägyptisch-semitischen Kulturkreises. Hafer und Roggen sind dagegen in der Bronzezeit nur selten; sie sind jedenfalls erst später in

Kultur genommen und dem ägyptisch-semitischen Kulturkreise fremd. Den *Roggen* bezeichneten zur Römerzeit die Südländer als ein „schwärzliches, unverdauliches Korn“, und er ist ja auch heute noch von ihnen wenig geschätzt. Der *Hafer*, auch ein „nördliches“ Korn, galt den Alten als ein Unkraut, das sich unter das Korn mischte (*Theophrast*) und in welches das Korn sich verwandelte; aber schon *Plinius* berichtet, es gehe auch der Hafer in ein edleres Getreide über — und fügt hinzu, daß die Germanen ausschließlich davon leben. Den Namen Hafer deutet *Hehn* als „Bockskraut“ — m. a. W. dem Sinne nach als Unkraut; er sei wohl mit der Pflanze aus dem Süden gekommen, wenn diese auch im Norden zuerst in Kultur genommen wurde, und deute auf ein echtes Korn hin, zu dem es in Gegensatz gestellt wurde.

Aus den Etymologien, die *Hehn* über den Weizen bringt, greife ich nur eine Bemerkung heraus, auf die später noch zurückzukommen sein wird. Der Name für Weizen bedeutet in allen Sprachen *Weißkorn*. Auch dieser Name erlaubt einen Rückschluß, insofern er die frühere Bekanntheit mit einem schwärzeren Getreide voraussetzt.

Die Zeit von 1807—1870, die mit dieser philologischen Methode arbeitete, hatte demnach keine neuen Aufschlüsse über die Herkunft unserer Brotgetreide gebracht. Über die späteren Spekulationen und Untersuchungen auf philologischem Gebiet verweise ich auf die Schrift von *Schulz*: *Geschichte der kultivierten Getreide*<sup>1)</sup>, in der auch die sprachwissenschaftlichen und kulturhistorischen Forschungen über Verbreitung unserer Getreidearten in historischer und prähistorischer Zeit ausführlich dargestellt sind. Für unsere heutige Fragestellung sind diese Erörterungen von geringerem Interesse. Wo immer die ältesten Überreste menschlicher Nahrungsmittel gefunden sind, treten uns die Getreide schon als hochkultivierte Formen entgegen. Doch stand wohl längst die Ansicht fest, daß sie von Wildformen abstammen, und es ist denn auch gelungen, im Laufe der Zeit eine Anzahl dieser vermeintlichen (oder wahrscheinlichen) Stammformen in wildem Zustande aufzufinden. Es sind die folgenden:

1. *Weizen*: *Triticum dicoccoides*, 1855 von *Kotschy* am Hermon gefunden und für die wilde Gerste gehalten, 1899 aber von *Körnicker* nach dem Herbarmaterial beschrieben und richtig erkannt. Trotzdem wurde der Fund nicht recht beachtet, bis 1906 *Aaronsohn* am Hermon und im Jordantal (in 1900 m bis minus 190 m Höhe) die Pflanze wildwachsend wiederfand. *Schweinfurth* erkannte sofort die Bedeutung des Fundes und stellte die Pflanze als „Urweizen“ zu den Emmern. Die Früchte waren nicht einheitlich, sondern teils hell, teils schwarz. Die Sendung von *Aaronsohn*

<sup>1)</sup> Verlag Nebert, Halle 1912.

bildet das Ausgangsmaterial für alles, was in unseren botanischen Gärten an *Tr. dicoccoides* kultiviert wird. 1910 ist die Art von *Straus* in Westpersien wiedergefunden worden.

*Triticum aegilopoides*, dem Einkorn nahestehend, ist in zwei Varietäten bekannt: a) *Tr. boeoticum*, 1833 von *Link* gefunden, kommt nur auf der Balkanhalbinsel vor; b) *Tr. Thaoudar*, 1854 von *Belansa* in Lydien, Syrien, Mesopotamien, Assyrien und Westpersien gefunden, dann auch wieder lange nicht mehr gesehen, bis 1906 *Aaronsohn* auch diese Art am Hermon und am Jordan wiederfand.

2. Gerste: *Hordeum spontaneum*, bereits 1864 von *Carl Koch* in Vorderasien, später ebenfalls von *Aaronsohn* in Palästina gefunden, massenhaft auftretend, eine zweizeilige nickende Gerste.

*H. ischnatherum*, in Montpellier am Port Juvenale eingeschleppt, von *Cosson* beschrieben, später in den Euphrat-Tigris-Ländern und Kurdistan gefunden; in der Form etwas variabel. Gleichfalls zweizeilig, aber mit begrannnten Seitenährchen (hierüber später). Beide Arten kommen auch gemischt vor.

3. Hafer: *Avena fatua*, eine echte Steppenpflanze in Ost- bis Mitteleuropa, ist jetzt als Ackerunkraut weit bis nach Nordeuropa verbreitet.

*A. barbata* im Mittelmeergebiet.

*A. sterilis* im westlichen Mittelmeergebiet bis zum Atlantik, im Osten bis Persien reichend.

*A. Wiestii* in heißen Wüsten Nordafrikas und Arabiens.

Alle Arten sind lange bekannt, entsprechend ihrem Vorkommen im europäischen Kulturgebiet; das gleiche gilt für den wilden

4. Roggen: *Secale montanum* im weiteren Sinne, der als fremdbefruchtende Pflanze mehr ausgeglichen ist, sich aber doch in 3 Typen einteilen läßt:

*S. montanum* i. e. S. in Nordwestafrika, Südwesteuropa und auch auf dem Balkan verbreitet,

*S. dalmaticum* in Dalmatien und der Herzegovina heimisch,

*S. anatolicum*, mit weiterer Verbreitung über Vorder- und Innerasien, in vielartigen Rassen vorhanden und so schon von *Koch* gefunden.

Über die Frage, ob diese Wildformen wirklich die Stammpflanzen unserer Getreide sind, kann die philologisch-historische Forschung keinen Aufschluß geben. Die Wissenschaft hat eine ganze Reihe anderer Methoden angewandt, um diesem Ziele näher zu kommen.

Als erste Methode nenne ich die *Pflanzengeographie*; sie ist besonders bei dem Hafer mit Erfolg herangezogen (vgl. Tab. 2).

Es schließen sich der Verbreitung nach:

*Avena sativa*, unser Saathafer, in seinen verschiedenen Varietäten an *A. fatua*,

*Avena byzantina*, der Mittelmeerhafer, an *A. sterilis*,

*Avena strigosa* u. *brevis* in Portugal, Spanien an die mehr im westlichen Teil des Mittelmeergebietes verbreitete *A. barbata*,

*A. abyssinica* endlich, wie der Name sagt, in Abessinien gebaut, an die in Wüsten Nordafrikas und Arabiens heimische und an diese Standorte angepaßte *A. Wiestii*.

Die Zuteilung der Kulturhafer zu diesen Wildhafern wird bestätigt durch die *morphologisch-deskriptive* Methode.

Zum Verständnis des Folgenden sollen nur einige wenige morphologische Daten gegeben werden:

Die Achse der Getreideähre ist aus einzelnen Spindelgliedern aufgebaut, deren jedes 1—3 Ährchen trägt, die ihrerseits wieder ein- bis mehrblütig sein können. Am Grunde jedes Ährchens sitzen zwei Hüllspelzen, dann folgt die Blüte, bestehend aus einer Deckspelze, die Frucht späterhin auf dem Rücken deckend, und einer Vorspelze, die Frucht von der Bauchseite umschließend, beide etwa dem Kelch entsprechend. Diese Spelzen werden zur Blütezeit durch 2 Schwellkörperchen, die sich mit Wasser füllen, gespreizt; dann folgen nach innen die 3 Staubgefäße und der Stempel mit 1 Samenanlage und 2 Narben. Sind mehrere Blüten vorhanden, so sind die 2 Hüllspelzen am Grunde des Ährchens ihnen gemeinsam. Dieser *allen* Getreidearten gemeinsame Aufbau bringt nun durch variierende Ausbildung eine ungeheure Mannigfaltigkeit von Typen hervor, von denen sich, wer sie nicht gesehen, schwer einen Begriff macht. Die wesentlichsten Gruppenmerkmale beziehen sich auf Gestalt der Hüllspelzen, auf die Ausbildung der Granne an der Deckspelze, auf die  $\pm$  feste Verwachsung von Hüll- und Deckspelze mit dem Korn bei Gerste (wonach man bespelzte und nackte Gerste unterscheidet) bzw. den  $\pm$  festen Schluß derselben um das Korn bei Weizen und Hafer, bei denen es nicht zu einer wirklichen Verwachsung kommt (Spelzweizen — Nacktweizen). An dieses letzte Merkmal reiht sich ein weiteres, das zu einer Gruppeneinteilung führt, nämlich die Beschaffenheit der Spindel; bei unseren Kulturformen ist die Spindel aus den fest aneinander haftenden Einzelgliedern aufgebaut und bleibt beim Drusch als einheitliche Achse stehen. Bei allen Wildformen (und den primitiveren Kulturformen) trennt sich bei der Reife das Korn nicht von seinem Spindelglied, sondern dieses löst sich von seinen Nachbarn, so daß die ganze Spindel in ihre Bestandteile zerfällt; man nennt eine solche Spindel brüchig.

Mit Recht sieht man in gleichartiger morphologischer Ausbildung ein Zeichen von Verwandtschaft; und so sind auf Grund morphologischer Ähnlichkeit zunächst für Weizen und Hafer bereits um die Mitte des vorigen Jahrhunderts Systeme aufgestellt, in denen die Formen *folgendermaßen* zusammengefaßt werden, z. T. noch



bis in die jüngste Zeit (siehe Tabelle 1, Horizontalreihen).

Tabelle 1. *Triticum*.

| Monstrositäten | —            | polonicum       |                |
|----------------|--------------|-----------------|----------------|
| Nacktweizen    | —            | durum, turgidum | vulgare (comp) |
| Spelzweizen    | monococcum   | dicoccum        | Spelta         |
| Wildformen     | aegilopoides | dicoccoides     | —              |
|                | Einkornreihe | Emmerreihe      | Dinkelreihe    |

1. Weizen<sup>2)</sup>.

- Spelzweizen: Spindel brüchig, Spelzenschluß fest, Hüllspelzen mit durchgehenden Längsnerven;
- Nacktweizen: Spindel zäh, Spelzenschluß locker, Hüllspelzen nur oben wenig nervig;
- Für sich steht, als Monstrosität angesehen, *Triticum polonicum*;
- den Spelzweizen nahestehend die in neuerer Zeit aufgefundenen Wildformen.

Jede Gruppe erhielt ihren besonderen Namen und galt als eine verwandtschaftliche Einheit. Schon *Körnicker* zog diese Phylogenie in Zweifel. Es zeigte sich, daß diesen Merkmalen andere gegenüberstehen, die eine *Gruppierung in anderem Sinne* verlangten. Diese gründet sich in morphologischer Hinsicht im wesentlichen auf die Form der  $\pm$  gekielten Hüllspelze und den Halm, der hohl oder markig sein kann.

Diese Merkmale trennen u. a.<sup>2)</sup> die als Emmer zusammengestellten Typen *Triticum dicoccum*, *durum*, *turgidum*, *polonicum* von den als Dinkel zusammengefaßten: *Spelta* und *sativa* (Vertikalreihen).

*Tr. monococcum* hat von jeher wegen seiner charakteristischen morphologischen Merkmale eine Sonderstellung eingenommen; diese finden sich aber z. T. bei *T. aegilopoides* wieder, während *dicoccoides* die Merkmale von *dicoccum* trägt. Somit ergeben sich für den Weizen drei Reihen: die Einkorn-, Emmer- und Dinkelreihe, für deren Begründung sich vor allem *A. Schulz* eingesetzt hat.

Was berechtigt uns nun, die morphologischen Merkmale *dieser* drei (Vertikal-) Reihen als wichtiger und für die phylogenetische Systematik ausschlaggebend anzusehen?

Ein Blick auf die anderen Gruppen der Getreide wird uns darüber Auskunft geben.

Bei den Haferarten (vgl. Tab. 2) stellte die

Systematik des vorigen Jahrhunderts zwei Reihen auf: die *Agrestes* (Wildhafer) mit brüchiger Spindel, rauher Behaarung, starren geknietten Grannen (untere Horizontalreihe) und die *Sativae*

Tabelle 2. *Avena*.

| Monstrositäten        |            |          | nuda                   |           |
|-----------------------|------------|----------|------------------------|-----------|
| Saathafer<br>Sativae  | abyssinica | strigosa | sativa<br>(orientalis) | byzantina |
| Wildhafer<br>Agrestes | Wiestii    | barbata  | fatua                  | sterilis  |

(Saathafer) mit fester Spindel, kahlen Blättern und zarten Grannen (mittlere Horizontalreihe), also eine Einteilung, der in Spelzweizen und Nacktweizen etwa entsprechend. Die Pflanzengeographie wies, wie wir sahen, auf einen anderen Zusammenhang, und andere, hier nicht genannte morphologische Merkmale bestätigten einen solchen, wie er in den Vertikalreihen von Tab. 2 zum Ausdruck kommt.

Diese morphologischen Unterschiede sind konstant, ohne deutliche Zwischenformen, während z. B. für *sativa-fatua* eine ganze Reihe von Zwischenstufen bekannt geworden ist.

Wir können nun die Frage wiederholen: Was berechtigt uns, die eine Gruppe von Merkmalen als phylogenetisch bedeutsam anzusehen, die andere nicht? Die Antwort lautet: Einerseits handelt es sich um spezifische Merkmale (des Weizens, des Hafers), andererseits um Merkmale, die den so weit auseinanderstehenden Gattungen gemeinsam sind, ebenso aber auch dem Roggen und der Gerste, und die sie alle mit den übrigen Gräsern verbinden. Alle *Wildformen* sind durch die gleichen Merkmale gekennzeichnet; alle haben z. B. eine brüchige Spindel, storre Grannen, rauhe Behaarung; das aber sind Mittel, die der natürlichen Verbreitung der Art dienen. Die Gemeinschaftlichkeit der Merkmale der Nacktweizen, der Saathafer usw. sind Konvergenzerscheinungen, die auf die gleiche Ursache zurückgehen — es sind Domestikationsmerkmale. Indem sie einen Verlust der natürlichen Verbreitungsmöglichkeit der Getreide bedeuten, konnten sie sich nur halten und weiter entwickeln unter dem Schutze des Menschen, der durch bewußte oder unbewußte Auslese für den Weiterbestand der ihm vorteilhaften Varietäten sorgte. Die zweite Gruppe der morphologischen Merkmale wird von dieser Auslese nicht betroffen und konnte sich daher als spezifisch halten. Und so vollzog sich sowohl beim Weizen als beim Hafer von verschiedenen Wildformen ausgehend der Fortschritt zu einer oder mehreren Kultursorten. Bei den Weizen hat sich dieser Prozeß in zwei Schritten vollzogen; die Spelzweizen mit nur schwach brüchiger Spindel bezeichnen den ersten; sie werden z. T. grün geerntet (Grünkern). Damit korre-

<sup>2)</sup> Es können hier nur einige der wesentlichsten Merkmale gebracht werden.

liert ist dann eine weitere Eigenschaft: der Spelzenschluß; die Wildformen haben sehr festen, die Kulturformen lockeren Spelzenschluß; auch das ein Domestikationsmerkmal, das der natürlichen Verbreitung entgegenwirkt; das Korn, das nackt aus der Ähre fällt, fällt zu Boden und bleibt liegen; das Korn, das mit Spelzen, Spindelglied und Granne versehen ist, kann mit Leichtigkeit durch den Wind und das Fell der Weidetiere verbreitet werden, bohrt sich aber dann, wo es niederfällt, vermittelt des zugespitzten Endes sowie der rauh und rückwärts gezahnten Granne schnell in eine gewisse Tiefe in den Boden ein.

Das gleiche gilt für Roggen und Gerste und ihre Wildformen, obschon bei ihnen von der Aufstellung eines Stammbaumes noch keine Rede sein kann. Der Roggen ist, wie bereits erwähnt, als Fremdbefruchter (allogam) ständiger Kreuzung, Mischung seiner Typen und damit Herstellung einer gewissen Gleichförmigkeit ausgesetzt und soll im folgenden daher nicht weiter berücksichtigt werden. Auf den Stammbaum der Gerste komme ich später.

Es sind damit Stammbäume aufgestellt, und es gilt diese auf anderem Wege noch zu verifizieren. Die moderne Biologie griff zum Experiment und hat nach- und nebeneinander folgende Methoden auf diese phylogenetische Frage angewendet

1. die experimentelle Bastardforschung:
  - a) Bastardierbarkeit,
  - b) Kreuzungsergebnisse;
2. die serologische Methode und daran anschließend die pflanzenpathologische Methode;
3. die cytologische Methode.

Wir wollen sehen, wie sich die aufgestellten Stammbäume durch diese Methoden stützen lassen.

Es ist bekannt, daß sich im allgemeinen Organismen nur leicht miteinander kreuzen lassen, die einen gewissen Grad von Verwandtschaft besitzen und daß die Kreuzungsprodukte fernerstehender häufig steril sind, je nach dem Grade ihrer Verwandtschaft. Dieser Gedanke ist in aller Schärfe von *Tschermak* vertreten, der 1914 die für Getreide damals bekannten Tatsachen zusammengestellt und für seine Hypothese ausgewertet hat. Später haben *Backhouse* und *Malinowski* in gleicher Weise gearbeitet. *Tschermak* kommt zu folgenden Resultaten:

*Tr. monococcum* nimmt eine Sonderstellung ein; es läßt sich nur schwer mit den anderen Weizen kreuzen, und die wenigen Bastarde sind steril; Rückkreuzungen gelingen gleichfalls nur schwer. Das einzige Korn, das aus einer Rückkreuzung mit *Tr. durum* gewonnen wurde, weist darauf hin, daß *Tr. monococcum* der Emmerreihe näher steht als der Dinkelreihe. Es wird allerdings über einen sterilen natürlichen Bastard von *Tr. aegilopoides* × *dicoccoides* aus Syrien berich-

tet (*Schulz*); dieser Bericht ist aber so ungenau, insbesondere fehlen alle Angaben über die Nachkommenschaft, so daß der Beweis, daß es sich um diesen Bastard handelt, nicht als erbracht gelten kann.

*Tr. dicoccum* zeigt in seinen Kreuzungen eine abgeschwächte Fertilität — aber sowohl mit den Nackttypen der eigenen Reihe als mit allen Gliedern der Dinkelreihe; abgeschwächt ist auch die Fertilität bei Bastarden der Kombination Emmer-Nackt × Dinkel-Spelz. Völlig fertil sind die Bastarde der Dinkel unter sich, sowohl nackt wie bespelzt, sowie der Nacktemmer unter sich. — Deutlicher noch treten diese Unterschiede bei *Kajanus* 1918 hervor: die Kreuzungen vulgare × *dicoccum* und × *turgidum* zeigen abgeschwächte Fertilität, vulgare × *Spelta* oder *compactum* dagegen nicht.

Es zeigt sich also, daß eine starke Verwandtschaft innerhalb der Dinkelreihe zwar zum Ausdruck kommt; die Beziehungen zwischen Dinkel- und Emmerreihe jedoch nicht eindeutig nach dieser Methode zu bestimmen sind. Besonders die Emmer-Nackt- und Dinkelspelzbeziehungen treten nicht klar heraus. Nach *Tschermak* soll auch *Tr. polonicum* mit *durum* sowohl als mit vulgare abgeschwächte Fertilität zeigen; neuere Arbeiten der englischen Schule (*Biffen*, *Engledow*, *Backhouse*, *Caporn* *St. Clair*) haben indes volle Fertilität der *durum* × *polonicum*-Bastarde gezeigt — bestätigen also die *Tschermaksche* Theorie besser.

Ich möchte trotzdem auf diese Beweisführung kein entscheidendes Gewicht legen; wissen wir doch von gut untersuchten Gattungen, daß bei verhältnismäßig weit voneinander stehenden Arten mitunter völlig fertile Bastarde entstehen, während Varietäten nachweislich verwandter Sippen sich nicht kreuzen lassen. Nachdem es *Belling* gelungen ist, bei *Stizolobium*, einer Leguminose, zu zeigen, daß die Sterilität sich wie ein mendelndes Gen verhält, hat *Backhouse* das gleiche für Weizen getan. Viel Wahrscheinlichkeit für sich hat die Erklärung, die *Malinowski* in seiner letzten Arbeit gefunden. Danach sind die Bastarde steril, wenn nicht zueinander passende Gene zusammentreffen; je nach der Anzahl der nicht zueinander passenden Genpaare wird die Sterilität ± groß sein. Daraus folgt aber dann, daß in der Nachkommenschaft die +fertilen (ebenso wie die +sterilen Kombinationen) wieder herauspalten müssen. Er hat das für eine Reihe von *dicoccum*-Kreuzungen bis *F<sub>3</sub>* nachgewiesen. Wir finden aber darin auch die Erklärung dafür, daß zwar die *Tschermaksche* Regel zumeist gelten wird, denn je ferner sich zwei Organismen stehen, um so eher werden ihre Gene nicht zusammenpassen; aber damit ist noch nicht gesagt, daß es so sein muß, und wir verstehen, wie es möglich ist, daß Gattungsbastarde, wie Roggen-Weizen-Bastarde, verhältnismäßig fruchtbarer sein kön-



nen wie z. B. die monococcum-Bastarde; das gleiche gilt für die Aegilops-Triticum-Kreuzungen; Aegilops läßt sich auch mit Roggen kreuzen, während die Kreuzungen Roggen-Gerste und Weizen-Gerste noch nicht gelungen sind. Wäre Kreuzbarkeit ein Maß für die Verwandtschaft, so müßten Aegilops und Roggen dem Weizen näher stehen als das Einkorn. Bei Gerste versagt die Methode ganz, denn alle Gersten sind unbeschränkt miteinander kreuzbar, bei Hafer ist sie wenig angewandt worden. Die Bedeutung der Bastardierung für phylogenetische Fragen scheint mir an einer anderen Stelle zu liegen, nämlich in einem genauen Studium der Kreuzungs- und Spaltungsprodukte, d. h. der Erbfaktoren. Diese können uns am ehesten einen Schlüssel liefern zu dem Wege, auf dem die verschiedenen Arten auseinander hervorgegangen sind und den Grad ihrer Verwandtschaft.

Nur kurz sei hier die *serologische Methode* erwähnt, die zuerst für den Hafer phylogenetisch verwertet worden ist und darauf hinausgeht, die verwandtschaftlichen Beziehungen auf Grund der Eiweißverwandtschaft festzustellen. Während die Arbeiten von Zade Resultate bringen, die die Schulz'schen Weizenreihen sowie die in Tabelle 2 vertikal dargestellte Phylogenie des Hafers sehr schlagend bestätigen (z. B. Einreihung des morphologisch den Dinkeln sich nähernden *Tr. turgidum* zu den Emmern, Anschluß von *Tr. polonicum* an *Tr. durum* u. a.), haben sich neuere Untersucher (Becker) mit Erfolg der *Sortenuntersuchung* gewidmet. Und in der Tat hat hierfür bei feinerer Ausarbeitung die Methode wohl auch eine praktische Bedeutung, ihre Antworten sind sicherer zu bewerten, als es bei dem Vergleich weitstehender Arten, selbst Familien, der Fall sein kann, für die die Königsberger Schule (Mez) die serologische Methode phylogenetisch auszuwerten sucht.

Weisen diese Ergebnisse darauf hin, daß die Bausteine der Zelle, insbesondere das Plasma, sehr stark spezialisiert sind, und daher Rückschlüsse auf die Verwandtschaft aus letzten Endes chemischen Reaktionen gezogen werden können, so lag der Gedanke nahe, die Widerstandsfähigkeit gegen Infektionen in gleichem Sinne zu verwerten. Daß Immunität bzw. Anfälligkeit erbliche Linieneigenschaften sind, die sich auf Faktoren zurückführen lassen, hat Biffen für Gelbrost bei Weizen, Kießling für die Streifenkrankheit der Gerste, Wawilow für Rost und Meltau bei Hafer und Weizen gezeigt. Wawilow hat dann zuerst darauf hingewiesen, daß sich diese Eigenschaft phylogenetisch verwerten läßt, wenigstens bei den hochspezialisierten Pilzsorten. Die Ergebnisse sind wiederum in Einklang mit den obengebrachten Entwicklungsreihen.

Ich komme nun auf die wichtigere Seite der Kreuzungsversuche, die m. E. sowohl Tschermak wie auch Thellung in seiner recht eingehenden

Darstellung der Phylogenie der Getreide<sup>3)</sup> nicht genügend bewertet haben. Ausschlaggebender als der Prozentsatz gelingender oder fruchtbarer Kreuzungen ist das, was dabei herauskommt, seien es Neukombinationen, Spaltprodukte oder anderes.

Bleiben wir zunächst beim Weizen.

Der einfachste Fall ist, daß aus zwei vulgare-Rassen bei Kreuzung spelzähnliche Typen hervorgehen. Körnicke wurde durch diese Tatsache veranlaßt, *Tr. Spelta* als Stammform der Saateweizen anzusehen. Wurde diese Erscheinung früher als eine Reaktivierung latenter Anlagen angesehen, so wissen wir heute, daß es sich in solchen Fällen vielmehr um Neukombinationen handelt; sei es, daß beide Eltern je einen von zwei Faktoren mitbringen, die zum Zustandekommen des „atavistischen“ Merkmals notwendig sind, sei es, daß durch Abspalten von Hemmungen Reaktionen vorhandener Faktoren miteinander möglich werden. Den ersten Fall hat z. B. v. Ubisch bei Gerste für das Auftreten der für *Hordeum spontaneum* charakteristischen Brüchigkeit nach Kreuzung zweier Kulturgersten aufgedeckt. Den zweiten beschreibt Fraser als Rückschlag zu *Avena sterilis* nach Kreuzung zweier Kulturhafer. Eine große Reihe solcher Erscheinungen ist heute bekannt und bestätigt fast durchweg unsere Stammbäume.

Nicht mit ihnen in Einklang zu bringen ist das Abspalten von typischen Spelzen aus dicocum  $\times$  vulgare-Kreuzungen, von Speltoidformen aus turgidum  $\times$  vulgare. Das deutet doch wohl darauf hin, daß die Trennung zwischen der Emmer- und Dinkelreihe nicht so scharf ist, und die Frage entsteht, ob wir die Wildform der Dinkelreihe wirklich nur noch nicht kennen — oder ob nicht vielmehr doch beide Reihen auf eine gemeinsame Wildform zurückgehen. Daß noch neue wilde Arten gefunden werden, ist zwar nicht undenkbar — liegen doch die Funde von dicocoides und aegilopoides noch keine 20 Jahre zurück —, gibt jedoch der ersten Deutung viel Wahrscheinlichkeit. Hier ist noch ein lohnendes Feld für experimentelle Arbeit.

Bei den Gersten liegt die Phylogenie noch sehr im argen; wir kennen nur zweizeilige Wildformen und werden sofort vor die Frage gestellt: wo stammen die mehrzeiligen Gersten her?

Die Annahme von Schulz, daß die mehrzeiligen Gersten von *Hordeum ischnatherum* abstammen, lediglich auf Grund der Tatsache, daß die sterilen Seitenährchen dieser Wildform lang zugespitzte bis kurz begrannete Spelzen besitzen, wie sie auch die meisten heterozygoten Zwischenformen aus Kreuzungen zweizeilig  $\times$  sechszeilig aufweisen, ist nicht haltbar. Denn zweizeilig  $\times$  zweizeilig gibt stets zweizeilig; auch müssen wir die Zweizeiligkeit als ein Reduktionsmerkmal ansehen, handelt es sich dabei doch in erster Linie

<sup>3)</sup> Nat. Wochenschr. 1918.

um die Verkümmern der Sexualorgane in den seitenständigen Blüten der Ähre. Es ist ferner zu beachten, daß unter den ältesten Gerstenfunden, in Pfahlbauten und ägyptischen Gräbern, die sechszeiligen Gersten, wenn auch nicht überall allein vorkommen, so doch stets besonders stark vertreten sind. Dichte sechszeilige Formen, die jetzt in Europa fast fehlen, müssen also hier einmal vorgeherrscht haben, wie sie andererseits auch heute noch in Japan zu finden sind. Die Kreuzungsergebnisse machen also einen polyphyletischen Ursprung der Gersten sehr wahrscheinlich. Mit den verwandtschaftlichen Beziehungen der Gersten hat sich besonders G. v. Ubisch befaßt. Aus ihren Versuchen ist bemerkenswert, daß *H. spontaneum* fast alle von ihr untersuchten Eigenschaften dominant enthält, mit Ausnahme des Kapuzenfaktors und des Schwarzfaktors. Ich konnte zeigen, daß auch Hemmungsfaktoren gegen Brüchigkeit bei *H. spontaneum* rezessiv, also wohl als Neuerwerbungen der Kulturformen anzusehen sind. Was den Schwarzfaktor (schwarze Farbe der Spelzen) betrifft, so ist dieser bei allen Getreiden dominant; er findet sich ebenso bei den wilden Weizen und beim Hafer, und v. Ubisch spricht die Vermutung aus, daß die wilde Stammform der Gerste eine schwarze, im übrigen *Hordeum spontaneum* gleichende Form gewesen sei. Wir finden für diese Hypothese eine Stütze auf pflanzengeographischem Gebiet: in der Tat ist die Heimat der schwarzen Gersten von der des *H. spontaneum* nicht weit entfernt, nämlich Ägypten und Abessinien, wo sie sowohl als zwei-zeilige wie als vielzeilige Formen vorkommen. Auch bei *Triticum dicoccoides* sahen wir unter den wilden von *Aschersohn* gefundenen Ähren viele schwarze — so daß man geneigt sein könnte, die schwarze Form für primitiv zu halten, und der alte Name Weißkorn für unsern Weizen erweckt ähnliche Gedanken. Immerhin bleibt diese Vermutung noch recht hypothetisch.

Eine Frage, die für alle Getreide gelöst werden muß, ist die Herkunft der Sommer- und Winterformen, die ich nur kurz streifen will. Soweit uns die wilden Stammformen bekannt sind, sind sie einjährige Pflanzen; einzig der Roggen stammt von einer perennierenden Pflanze ab. Es ist nun die Frage, wie die beiden, nicht einfach ineinander überzuführenden Typen entstanden sind. In der Praxis ist vielfach eine „Umstimmung“ des einen Typus in den anderen behauptet worden: so hat z. B. *Lochow* seinen Petkuser Winterroggen aus Sommerroggen angeblich durch allmähliche Gewöhnung gewonnen. Durch langjährige Versuche hat *Fruwirth* (1914) gezeigt, daß es sich bei diesen sog. Umzüchtungen nur um eine Auslese handelt; daß eine solche bei dem fremdbestäubenden Roggen von Erfolg sein muß, liegt auf der Hand. Aber auch bei Weizen und Gerste ist für einen derartigen Ausleseprozeß Material vorhanden. In der Praxis wird ja zumeist mit Formengemischen, mit Populationen gear-

beitet. Es bestehen aber nach den Untersuchungen von *Fruwirth*, *Nilsson-Ehle* u. a. Linienunterschiede bezüglich der Entwicklungsperiode, die z. T. sehr weitgehend sind. Ferner aber stecken in unseren Getreidearten verschiedene Anlagen. Sippen mit beiderlei Anlagen werden als Wechselgetreide bezeichnet und diese können natürlich ohne große Schwierigkeit „umgezüchtet“ werden. So ist z. B. der Schlanstedter Sommerweizen nicht eine Umzüchtung des Bordeaux-Winterweizens, sondern der Bordeauxweizen ist ein Wechselweizen, der nur üblicherweise im Herbst gebaut wird; *Fruwirth* hat gezeigt, daß 15jähriger Sommeranbau dem Schlanstedter Sommerweizen die Fähigkeit, als Winterkorn zu wachsen, nicht genommen hatte.

Die wildwachsenden Stammformen unserer Getreide haben in ihrer Heimat nicht Gelegenheit, ihre Anlage zu Zweijährigkeit und Winterfestigkeit zu dokumentieren. Daß sie aber vorhanden ist, läßt sich durch Kreuzung zeigen. In noch unveröffentlichten Versuchen gelang es mir, aus der Kreuzung von *Hordeum spontaneum* mit einer sechszeiligen nackten Sommergerste typische winterfeste, z. T. *H. spontaneum* ähnliche Formen zu isolieren, die in diesem Jahr in 3. Generation als Wintergerste gebaut werden. Es ist anzunehmen, daß unsere Winterformen in analoger Weise entstanden sind.

Neben die obengenannten Bastardatavismen ist nun eine Reihe anderer Atavismen zu stellen, die unabhängig von Kreuzungen als *Mutationen* zu deuten sind. Wenn bei solchen Mutationen innerhalb unserer Kulturformen ein Rückschlag zu einer der primitiveren Formen stattfindet, so müssen wir annehmen, daß zwischen diesen beiden Formen eine nahe verwandtschaftliche Beziehung besteht. Dabei handelt es sich nach der Bezeichnung von *Nilsson-Ehle* vielfach um Komplexmutationen, d. h. um die Abänderung vieler Eigenschaften durch einen Faktor bzw. eine Gruppe gekoppelter Faktoren.

Die Bastardierungsergebnisse geben uns somit vielfach einen Aufschluß über die großen Hauptlinien in der phylogenetischen Entwicklung der Getreide; sie sind aber ganz besonders geeignet, die kleineren Seitenwege in ihren Anschlüssen klarzulegen. Hier wäre eine Gruppe von Erscheinungen einzureihen, die, wenn man so sagen darf, vom Standpunkte des Normaltypus aus, als Monstrositäten anzusehen sind. Dazu gehört in der Emmerreihe *Triticum polanicum*. Die Spaltungsergebnisse nach Kreuzungen bestätigen die schon serologisch, morphologisch und nach dem Fertilitätsprinzip angenommene Auffassung des *Tr. polanicum* als einer Komplexmutation von *Tr. durum*.

Als eine Mißbildung im Sinne des Artbildes ist wohl auch die Kapuze der Kapuzengersten anzusehen, deren Genetik v. Ubisch nachgegangen ist. Sie deutet die Kapuze als „eine Mißbildung, die durch das Zusammentreffen zweier nicht zu-



einander passender Faktoren, für lange und kurze Granne, hervorgerufen ist“. Im Himalayagebiet, der Heimat der Kapuzengersten, sollen diese beiden differenten Anlagen von Ost (Kurzgrannigkeit) und West (Langgrannigkeit) zusammentreffen. Indessen kennen wir keine natürlich vorkommenden Gersten, die den von *v. Ubisch* postulierten Kurzgrannigkeitsfaktor *K* besitzen, er ist vielmehr nur in ihren Kulturen in der Nachkommenschaft der Kapuzengersten aufgefunden — also ebensowohl direkt als „Kapuzenfaktor“ zu deuten —. Der Gedanke, daß zwei nicht zueinander passende Gene eine konstante Mißbildung hervorbringen können, hat an und für sich ja nichts Unwahrscheinliches, und es ist mir gelungen, selbst einen solchen Fall bei Gerstenkreuzungen zu finden, der in analoger Weise bereits von *Körncke*, *Voß* und *Rimpau* vor der neuen Mendelforschung beobachtet und beschrieben wird. Dabei handelt es sich um die Entstehung deckspelzenartig verbreiteter Hüllspelzen an den Seiten- und vereinzelt auch an den Mittelährchen, wie solche für die in Abessinien heimische kleine Gruppe der breitklappigen (*macrolepis*-) Gersten charakteristisch ist. In allen vier beobachteten Fällen handelt es sich um Derivate einer Kreuzung von 2zeiliger dichtähriger Sommergerste mit 6zeiliger Wintergerste, wo keiner der beiden Elterntypen breite Hüllspelzen besaß. Entwicklungsstörungen, Verzweigung der Ähren usw. kennzeichnen die Erscheinung als Anomalie; man kann annehmen, daß die abessinischen *macrolepis*-Formen auch aus der Kreuzung zweier morphologisch und vor allem physiologisch differenten Formen hervorgegangen sind.

Nur erwähnen will ich ferner als eigenartige Typen die grannenlose Gerste, die Pfauengerste, den Squarehead- und den Compositum-Weizen. Es ist aber aus dem wenigen Gebrachten wohl ersichtlich, welche überragende Bedeutung für die Erforschung des Getreidestammbaumes gerade die experimentelle Bastardforschung hat — in weit höherem Maße als das Fertilitätsprinzip, das *Tschermak* so hoch bewertet.

Als letztes neuestes Glied in der Kette von Methoden ist nun noch die cytologische zu nennen. Die cytologischen Untersuchungen an Getreide sind leider noch sehr in den Anfängen. Außer einer etwas abseits liegenden Untersuchung von *Bally* an *Triticum-Aegilops*-Bastarden kommen nur eine Reihe japanischer Arbeiten in Frage. Nach älteren Untersuchungen, die mehrfach bestätigt sind, haben Weizen und Roggen 8, Gerste 7 Chromosomen (haploid).

Zu überraschenden Resultaten führen nun die neuen japanischen Arbeiten von *Sakamura* und *Kihara* an Weizen. Danach ist die Chromosomenzahl bei Weizen nicht einheitlich, sondern es bestehen bei Weizen, ähnlich wie bei *Hieracium*, bei *Rosa* u. a. polyploide Reihen. Danach wäre die

haploide Grundzahl 7 — neben der diploiden Form, die in *Tr. monococcum* verwirklicht ist ( $2x=14$ ), steht eine tetraploide Reihe mit *Tr. turgidum*, *durum*, *polonicum*, *dicoccum* ( $2x=28$  Chr.) und eine hexaploide Reihe mit *Tr. vulgare* und *Spelta* ( $2x=42$  Chr.), m. a. W.: Nur *Tr. monococcum* hat die primitive Zahl, die Emmerreihe wäre tetraploid, die Dinkelreihe hexaploid — und wir sehen auf diesem, ganz andersartigen Gebiet die Schulzschen Reihen bestätigt. Es wäre nun von ganz besonderem Interesse und dringend erforderlich, die Chromosomen der Wildformen zu untersuchen.

*Sakamuras* Zahlen sind von *Kihara* und *Sax* bestätigt; *Kihara* hat nun auch die Kreuzungen beider Reihen cytologisch untersucht, und zwar stets Emmer  $\times$  Dinkel, also  $14 \times 21$  Chromosomen.  $F_1$  hat 35 Chromosomen (somatisch). In  $F_2$  finden sich Zahlen, die erkennen lassen, daß die univalenten Chromosomen isoliert bleiben und daß bei der Reduktionsteilung das Bestreben besteht, die ursprünglichen Chromosomensätze von 14 bzw. 21 Chromosomen wiederherzustellen. Diese Tatsache, die den neuen Untersuchungen entspricht, die *R. Stoppel* an den Winklerschen Pfropfbastarden gemacht hat, erklärt die große Konstanz der beiden Weizenreihen trotz ihrer starken Kreuzbarkeit. Auch bei Hafer bestätigen die cytologischen Untersuchungen den nach den anderen Methoden aufgestellten Stammbaum; Grundzahl diploid ist 14, *A. barbata* und *strigosa* haben 14 Chromosomen, *sterilis* und *byzantina*, *fatua* und *sativa* sind hexaploid ( $2x=48$  Chromosomen). Von *barbata* gibt es daneben eine tetraploide Rasse ( $2x=28$  Chr.). — Wir stehen hier, wie man sieht, noch ganz in den Anfängen und können von weiteren Untersuchungen, besonders der Kreuzungsprodukte, manchen Aufschluß für phylogenetische Zweifelsfragen erwarten.

Wenn ich nun zusammenfasse, so möchte ich zunächst die *Methoden* kurz rekapitulieren und zeigen, wo sie mit Erfolg angewendet wurden:

1. die historische Methode — kann nur für die Wanderung der Kulturpflanzen, nicht für ihre Abstammung in Frage kommen — das gleiche gilt von der philologischen Methode.
2. Die pflanzengeographische Methode — angewandt bei Hafer, Roggen; hierzu gehört das Auffinden neuer Wildformen: Weizen, Gerste.
3. Die deskriptiv-morphologische Methode — gibt selbstverständlich die großen Gruppeneinteilungen aller Getreide; doch ist zwischen ursprünglichen und Anpassungsmerkmalen zu unterscheiden, auf Konvergenzerscheinungen zu achten.
4. Die serologische Methode — gut bei Hafer, schwankend bei Weizen, wohl besser für Sorten als für Artunterscheidungen; daran anschließend die Unterscheidung nach chemisch-physiologischen Eigenschaften, Verhalten gegen Parasiten usw.

5. Kreuzbarkeit — (*Tschermak*) bei Weizen, unsicher; versagt bei Gerste; bei Hafer wenig versucht.
6. Experimentelle Bastardierung als wichtigste analytische Methode — mit Berücksichtigung von Kreuzungsnovis, Rückschlägen, Mutationen und Monstrositäten.
7. Cytologische Methode — Weizen, Hafer.

Als *positives Resultat* hat sich ein gut gesicherter Stammbaum für Weizen und Hafer ergeben, für Gerste die Erkenntnis, daß wir noch so gut wie nichts wissen. Für Roggen als allogamem Organismus liegen die Verhältnisse wesentlich anders, darum ist er hier weniger berücksichtigt worden.

## Die zweite Tagung der Deutschen Pharmakologischen Gesellschaft.

Die Deutsche Pharmakologische Gesellschaft, die im Jahre 1920 gelegentlich der 86. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Bad Nauheim gegründet wurde, hielt voriges Jahr in Freiburg vom 29. September bis 1. Oktober ihre erste selbständige Tagung unter starker Beteiligung des In- und Auslandes ab.

Zunächst sprach *A. Ellinger* (Frankfurt) „über den Kolloidzustand der Körperflüssigkeiten und den Flüssigkeitsaustausch im Organismus“: Coffein setzt den Quellungsdruck der Bluteiweißkörper herab, so daß bis dahin gebundenes Wasser resp. Salzlösung frei und leichter abpreßbar wird. Auch am leblosen Modell ließ sich diese „diuretische“ Coffeinwirkung reproduzieren durch vergleichende Bestimmung der Filtrationsgeschwindigkeit einer Serumlösung durch Ultrafilter mit und ohne Coffeinzusatz; hierbei zeigte sich erhebliche Beschleunigung der Filtrationsgeschwindigkeit, die bei der schwächsten angewandten Verdünnung von Coffein 1 : 56 000 ca. 20 %, bei höheren Konzentrationen ca. 40 % und mehr betrug. Zur Ergänzung dieser prinzipiell neuen Befunde wurde nunmehr der Einfluß zahlreicher Pharmaka auf die Viskosität des Serums und Gelatine-lösung untersucht, wobei sich ganz bestimmte Wirkungstypen ergaben. Und da diese Wirkungen schon ausgeprägt sind bei Konzentrationen, die den therapeutischen Dosen nahestehen, so spricht auch dieses quantitative Moment für einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den beobachteten physikalisch-chemischen und biologischen Vorgängen.

*E. Meyer* und *Seydewitz* (Göttingen) berichten über Untersuchungen, die Gefäßfüllung und Herzgröße betreffen: Durch frühere Untersuchungen war schon gezeigt worden, daß die Herzgröße in stärkerem Maße, als bisher bekannt, von der Blutmenge bezüglich Gefäßfüllung abhängt. So kann künstliche Blutentziehung zu einer Herzverkleinerung führen, die dann durch nachträgliches Einströmen von Gewebwasser ins Blut allmählich wieder ausgeglichen wird. Diese Größenveränderungen des Herzens, röntgenologisch fortlaufend kontrolliert, können somit als Indikator für die zeitlichen Verhältnisse dieses Einströmens dienen und auch dafür, ob und wie weit dieser Restitutionsvorgang durch intravenöse Injektionen

beeinflusst werden kann. Es zeigt sich nun, daß diese Auffüllung des Gefäßsystems durch intravenöse Injektionen von Kochsalz und Ringerlösung nicht beschleunigt werden kann, wohl aber bei Zusatz von Gummi arabicum oder Gelatine zur Infusionsflüssigkeit. Hierbei liegt das Wirksame weder in der erhöhten Viskosität noch in dem erhöhten Gehalt an Calciumionen, da z. B. auch Injektionen von Normosal — mit ihrem normalen Calciumgehalt und nur wenig erhöhter Viskosität — in der Blutbahn verbleiben, und sich hiermit ebenso wie mit Gelatine oder Gummilösungen Zustände von „seröser Plethora“ mit Herzdilatation erzeugen lassen. Auch der klebrige Dialysierückstand von Normosallösungen, einer physiologischen Kochsalzlösung zugesetzt, bewirkt, daß die infundierte Flüssigkeit in der Blutbahn bleibt. Genau so wirkt Zusatz von kolloidalem Calciumphosphat.

*Starkenstein* (Prag) berichtet über die pharmakologische Beeinflussung der Nierenfunktion. Dabei zeigt er zunächst, daß die Harnproduktion auch beim normalen Organismus keineswegs der Menge des aufgenommenen Wassers proportional geht. Sie ist vielmehr abhängig von der Menge und der Verteilung der Zufuhr, von der qualitativen Zusammensetzung und drittens von der Art der Applikation der zugeführten Flüssigkeit. Unter Berücksichtigung dieser und ähnlicher Verhältnisse findet *Starkenstein*, daß dem Atophan eine diuretische Wirkung zukommt, die zum Unterschied von anderen Diuretika durch renale, nicht durch extrarenale Faktoren bedingt ist.

*Loewi* (Graz) spricht über humorale Übertragbarkeit der Herznervenerregung. Er geht aus von der Frage, in welcher Art und Weise die Erregung eines Nerven (z. B. des Nervus vagus) übertragen wird auf das Erfolgsglied (z. B. das Herz). In Analogie zu gewissen pflanzenphysiologischen Beobachtungen (*Mimosa pudica*) wäre es denkbar, daß im Gefolge der Reizung des Nerven ein Stoff produziert würde, der seinerseits erst entsprechende Wirkung an den Muskelfasern auslöst. In der Tat konnte *Loewi* zeigen, daß bei längerer elektrischer Reizung der Herznerven in die Füllflüssigkeit des an der Straubischen Kanüle arbeitenden Herzens Stoffe mit stark physiologischer Wirkung übergehen, die, auf ein zweites Herz als Testobjekt übertragen, hier Funktionsänderungen erzeugen, die denen des ersten, auf nervösem Wege gereizten Herzens, völlig parallel gehen: So wirkt der im Gefolge von Vagusreizung in die Flüssigkeit übergehende Stoff am Testherzen negativ inotrop, und seine Wirkung ist durch Atropin prompt zu beheben; umgekehrt wirkt der bei der Acceleransreizung übergehende Stoff am Testherzen positiv inotrop. Über die chemische Natur dieser nur in winzigen Mengen auftretenden Stoffe läßt sich Definitives noch nicht sagen. Zwar ist während der Vagusreizung der Cholingehalt in der Füllflüssigkeit vermehrt, aber trotzdem ist Cholin nicht die für die Wirksamkeit des Vagusinhaltes verantwortlich zu machende Substanz. Was den Acceleransstoff angeht, so ließ sich feststellen, daß es sich weder um ein Kalksalz noch um ein Lipoid handelt.

*de Boer* (Amsterdam) berichtet über Herzflimmern, dessen Wesen, Ursache und Therapie: Das Wesen dieses Flimmerns liegt nun darin, daß die Erregung die Kammer in mehreren Etappen durchläuft, also fraktionierte Extrasystolen vorliegen, die aneinandergereiht das längerdauernde Flimmern erzeugen. Dieses Kammerflimmern kann nicht nur nach direktem Reiz entstehen, sondern auch nach einer indirek-



ten Reizung von den Vorhöfen aus, wenn nur die Erregung die Kammer sogleich nach Ablauf des Refraktärstadiums erreicht.

Weiter berichtet *de Boer* über die Vergiftung des Froschherzens mittels Digitalis und Antiarin: Der Effekt besteht in einer Halbierung des Kammer-rhythmus, die nach *Straub* verursacht ist durch Verlängerung des Refraktärstadiums der Kammer. Auf eine solche Verlängerung läßt sich nach *de Boer* das ganze Vergiftungsbild des Froschherzens durch Digitalis und Antiarin zurückführen: Wenn der Bruch Dauer des Refraktärstadiums

$\frac{\text{Dauer einer Sinusperiode}}{2} > 1$  ist, entsteht der halbierte Rhythmus, ist er aber  $< 1$ , bleibt der normale Rhythmus bestehen. Infolge der Vergiftung nähert sich der Wert des Bruches während des normalen Rhythmus mehr und mehr der Zahl 1, der metabole Zustand ist verschlechtert, was sich im Abnehmen der Kontraktilität der Kammer äußert, und es entsteht der halbierte Kammerrhythmus. Hierdurch werden aber die Pausen verlängert, der metabole Zustand kann sich restaurieren, und wenn der Zustand einige Zeit bestanden hat, kann nunmehr der Halbrhythmus wieder in den normalen Rhythmus übergeführt werden.

*Oppenheimer* (Freiburg) hat mittels Saitengalvanometer die Herzfähigkeit kleiner Warmblüter studiert und ganz auffällig hohe Pulszahlen gefunden, z. B. beim Buchfink bis zu 700 i. d. Minute, beim Bergfink 900, Zahlen, denen gegenüber mechanische Registrierung versagen müssen.

*Biylsma* (Utrecht) hat Versuche über den Zusammenhang zwischen Digitalis und Herzkraft angestellt und kommt nach eingehender Analyse zu dem Resultat, daß die Kraft des Herzens durch Strophantin zunimmt.

*E. Meyer* (Göttingen) berichtet über rektale Digitalistherapie.

*Joachimoglu* (Berlin) hat nach der Vorschrift des deutschen Arzneibuches hergestellte Digitalistinkturen mit physiologischen Methoden ausgewertet und nach Aufbewahren unter verschiedenen Bedingungen mit denselben Methoden wiederum titriert. Dabei ergab sich, daß einjähriger Aufenthalt bei gleichmäßiger Kellertemperatur die Wirksamkeit nicht verändert, dagegen bei Zimmertemperatur, und stärker noch bei Bruttemperatur und bei Na-Bikarbonat-Zusatz, verringert.

*Wiechowski* (Prag) berichtet „über herzwirksame Glykoside“: Die Glykoside des wässrigen Digitalis-extraktes und der anderen einheimischen, digitalis-artig wirkenden Drogen lassen sich unter bestimmten Bedingungen fast quantitativ aussalzen. Vom Salz durch Alkohol getrennt, erhält man die Glykoside in ihrer natürlichen Gerbstoffkombination. Vergleichende Wirksamkeitsprüfungen ergaben nun für den Wasserextrakt entsprechend je 1 Gramm Droge folgende Werte in Froschdosen:

|                |      |
|----------------|------|
| Herba Adonidis | 600  |
| Bulbus Scillae | 1200 |
| Fol. Digitalis | 2000 |
| Fol. Nerii ol. | 2800 |
| Herba Convall. | 4800 |
| Rad. Hellebor. | 7000 |

Gegenüber dieser Wertigkeitsreihe, am Frosch gemessen, zeigt der Mensch — wenigstens bei Aufnahmen per os — eine andere Empfindlichkeit gegen diese verschiedenen Digitalisstoffe, indem z. B. Glykosidlösungen aus Convallaria und Helleborus sich bei

der klinischen Prüfung als relativ unterwertig erwiesen gegenüber Folia Digitalis.

*Schüller* (Leipzig) berichtet „über den Antagonismus der Lokalanästhetika gegenüber dem Veratrin-effekt am Muskel“. Ausgehend von der Tatsache, daß tonische Muskeleregungen der verschiedensten Genese durch Lokalanästhetika antagonistisch beeinflusst werden, ohne gleichzeitige Schwächung der motorischen Innervation, war Analoges auch beim veratrinisierten Muskel zu erwarten, wenn man der eigentlichen Veratrinverkürzung eine tonische Komponente supponierte. Von diesem Gesichtspunkt aus wurden die verschiedensten Lokalanästhetika geprüft und alle mehr oder weniger wirksam gefunden; und zwar so, daß nicht nur, wie bei der zweigipfligen Veratrinkurve, die der Initialzuckung folgende, eigentliche Veratrinverkürzung verschwindet, sondern auch die vergrößerte Initialzuckung selbst zur fast normalen Größe zurückgeführt wird. Bemerkenswert ist die prompte Wirksamkeit des Anästhesins, das trotz seiner geringen Wasserlöslichkeit von 0,08 % (Impens) selbst in  $\frac{1}{10}$  gesättigter Lösung auch hochgradigen Veratrineffekt aufzuheben vermag bzw. durch vorherige Anwendung verhindert. Dieser Antagonismus ist durch Spülung reversibel.

Weiter berichtet der Vortragende „über den Antagonismus einiger Lokalanästhetika gegenüber der Coffeinstarre des Muskels“: Dabei zeigte sich, daß durch Lokalanästhetika die voll entwickelte Coffeinstarre nicht gelöst wird; daß dagegen Vorbehandlung des Muskels mit Novokain, Anästhesin, weniger mit Kokain (nicht durch Alkohol, Äther) nachträglich zugesetztes Coffein je nach den angewandten Konzentrationsverhältnissen mehr oder weniger vollkommen unwirksam macht. So ist z. B. ein Temporarienschenkel, 15 Minuten mit Novokain 1 : 1000 bis 1 : 500 vorbehandelt, auf nachträglichen Zusatz von Coffein 1 : 1000 selbst nach 2 Stunden noch vollkommen schlaff und frei beweglich, während ein Kontrollschenkel mit gleich konzentrierter Coffeinelösung ohne Novokainzusatz nach wenigen Minuten erstarrt. Dabei ist bemerkenswert, daß die Zuckungsfähigkeit des Muskels auf Induktionsreiz durch passende Novokain-Coffein-Behandlung nicht nennenswert verändert wird und die Muskelfaser ihre normale mikroskopische Struktur beibehalten kann.

*Riesser* (Frankfurt) berichtet „über den Mechanismus einiger durch Gifte erzeugter Kontrakturformen“: Mit Hilfe der von *Embsen* neuerdings angegebenen Methode wurde der chemische und physikalisch-chemische Mechanismus der Coffein- und Veratrin-Kontraktur untersucht und gefunden, daß beide schließlich auf der Quellungswirkung der Laktacidogen-Stoffwechselprodukte beruhen. Demgegenüber bringt Acetylcholin, Nikotin (*Langley*) durch Erregung einer in der Gegend der Nerven Eintrittsstelle gelegenen Neuralsubstanz den Muskel zu Dauerverkürzung, ein Effekt, der weder vom Nerven noch von der sonstigen Muskelsubstanz aus auslösbar ist. Er läßt sich durch Curare 1 : 10 000, Atropin und Novokain 1 : 1000 aufheben. Die Curarewirkung auf Muskel ist demnach als eine zweifache anzusehen: Lähmung der motorischen Nervenendigungen und außerdem Lähmung der von diesem Nervensystem anatomisch und physiologisch verschiedenen Substanz der Neuralregion, des nervösen Substrats der tonischen Erregungen. Die beiden letztgenannten Gifte Atropin und Novokain beseitigen auch prompt die typische Wirkung niederer Veratrinkonzentrationen, und es wird dadurch wahrscheinlich, daß ihr antagonistischer Effekt gegenüber



Kontraktur erregenden Giften ganz allgemein durch Beeinflussung des Kolloidzustandes der Muskelfasern zustande kommt.

Neuschloß (Frankfurt) spricht „über die Wirkung von Muskelgiften auf Kolloide“; Vortragender versucht Beziehungen aufzufinden zwischen kolloidchemischen und physiologischen Wirkungen der Muskelgifte und prüft zu diesem Zwecke die Viskositätsbeeinflussung einer Gelatinelösung durch verschiedene Gifte, z. B. Chinin, Novokain, Strophantin, Veratrin, Coffein, Nikotin, Atropin. Er findet nun, daß Gifte, die keine nachweisbare Beziehung zu den Muskelgeweben haben, auch dem Gelatinesol gegenüber unwirksam sind, während mit typischen Muskelgiften auch charakteristische Viskositätsänderungen erhalten werden.

Asher (Bern) spricht über den Nachweis des unermüdbaren Anteils der quergestreiften Muskulatur: Bei einem intakten Kaninchen wird unter möglichst physiologischen Bedingungen der Nervus ischiaticus der einen Seite an der Stelle des Beckenausstrittes lokalanästhesiert, so daß er in der Peripherie ohne zentripetale Wirkungen gereizt werden kann. Mittels einer großen Elektrode im Rücken und einer Nadel-elektrode in Gegend des Kniegelenkes, dicht neben dem Nerven, wird nun mit einer Frequenz von 50 in der Sekunde tetanisiert. Dabei kann der Muskel bis zu 6 Stunden tetanische Kontraktionen ausführen, selbst wenn sie jede zweite, ja jede Sekunde aufgelöst werden. Nur die allerersten Kontraktionen fallen rasch ab, die späteren bleiben andauernd auf gleicher Höhe, die ungefähr 40 bis 70 % der Anfangshöhe beträgt. Damit ist, praktisch gesprochen, ein relativ unermüdbarer Anteil in der quergestreiften Muskulatur und auch in den Nervenendorganen des Säugetiers nachgewiesen. Diese peripheren Teile scheinen somit weniger Bedeutung für die allgemeine Körperermüdung zu haben als das zentrale Nervensystem.

Magnus (Utrecht) berichtet „über Pharmakologie der Körperstellungen und der Labyrinthreflexe“. Nachdem die Physiologie der Körperhaltung und der Labyrinthreflexe hinreichend aufgeklärt war, hat Vortragender im Verein mit den Herren *Verteegh* und *Jonkhoff* die Untersuchung von Giftwirkungen auf diesen sehr verwickelten Apparat begonnen. Dabei hat sich eine sehr weitgehende Spezifität in dem Sinne herausgestellt, daß jedes Gift die einzelnen Reflexgruppen in anderer Reihenfolge und Kombination beeinflusst, so daß sich sehr verschiedene Vergiftungsbilder ergeben. So wurde z. B. untersucht Pikrotoxin, Strychnin, Oleum chenopodii, Narkotika, Alkohol, Nikotin und andere. Alkohol lähmt z. B. von den Stellreflexen zuerst elektiv die Halsstellreflexe, so daß Zusammenarbeiten von Kopf und Hals gestört wird (Gang der Betrunkenen).

Le Heux (Utrecht) berichtet „über experimentelle Therapie der Magendarmlähmung“. Schon früher konnte mit guten Gründen gezeigt werden, daß das Cholin beim Entstehen der normalen Magendarmbewegung eine wichtige Rolle spielt. Es wurde deshalb untersucht, ob und inwieweit am ganzen Tier der normale und der künstlich beschädigte und gelähmte Magendarmkanal durch intravenöse Cholininjektion zu beeinflussen sei, wobei der Effekt mit Röntgenstrahlen verfolgt wurde: So erzeugen 4 bis 10 mg Cholinchlorid Verstärkungen und Beschleunigungen der gesamten Magendarmbewegung, ohne Veränderung ihres normalen Charakters. Wird der Darm durch stundenlange tiefe Chloroformnarkose, oder durch Eventrieren, und Massage, oder durch Ein-

spritzen von Lugolscher Lösung in die Bauchhöhle mehr oder minder in seiner Funktion gelähmt, so werden durch 10 mg Cholinchlorid intravenös wieder normale Magen-Dünndarm-Dickdarm-Bewegungen ausgelöst, so daß die Darmentleerung nahezu dieselbe ist wie bei nicht operierten Tieren.

Bornstein (Hamburg) spricht über einige toxische Glykämien: Gifte der Parasympathikusgruppe (Cholin, Pilokarpin, Physostigmin, Acetylcholin und andere) erzeugen bei subkutaner Injektion Erhöhung des Blutzuckergehaltes, die durch Atropin antagonistisch beeinflusst wird. Die so erzeugte Glykämie geht mit Schwund des Leberglykogens einher, beruht aber nicht auf Adrenalinmobilisierung, da sie auch bei epinephrektomierten Tieren zustande kommt. Gegen eine Gleichheit der oben genannten Glykämien mit der Adrenalinglykämie spricht auch die Tatsache, daß durch Pilokarpin die Adrenalinglykämie, und durch Adrenalin die Pilokarpinglykämie gehemmt wird. Ein weiterer Unterschied besteht darin, daß der „Pilokarpinzucker“ zum großen Teil sofort verbrannt wird, während der „Adrenalinzucker“ längere Zeit unverbrannt im Organismus kreist. Auch bei manchen Diabetikern, aber nicht bei Pankreasdiabetes, wird der Blutzucker durch Atropin herabgesetzt.

A. Jodlbauer (München) berichtet „über Jodbildung aus Jodkalium im Lichte, ohne und mit Sensibilisatoren“: Eosin und andere fluoreszierende Stoffe wirken auf Jodkaliumlösungen im Lichte nur so lange als reine Katalysatoren, als keine Bleichung dieser Stoffe auftritt. Bei der Bleichung des Eosins bilden sich Säuren, vor allem  $\text{CO}_2$ , die ihrerseits die Jodbildung fördern. Es sei angefügt, daß den Bleichungssäuren eine toxische Bedeutung bei Warmblütern nicht zukommt. Durch mittelgroße Eosindosen, wie sie z. B. in der Eosingerste vorhanden sind, lassen sich an Mäusen bei Fütterung per os auch bei intensiver Sonnenbelichtung keine toxischen Wirkungen erzielen.

Bürgi (Bern) hat die Wirkungen vitaminhaltiger Extrakte auf die Atmung untersucht, besonders solcher Extrakte, die den wasserlöslichen Vitaminfaktor enthalten, vornehmlich das Orypan. Sie erwiesen sich als Reizmittel des parasympathischen Nervensystems, setzten die Ermüdbarkeit des motorischen Nerven und des Muskels herab und erregten das Atemzentrum, was besonders in Erscheinung trat, wenn durch Morphin oder andere Opiate oder narkotische Substanzen der Fettreize das Atemzentrum geschwächt war.

Haffner (München) berichtet „über den Mechanismus der Hämolyse und der Agglutination durch Ionen“: Agglutination der Blutkörperchen kann durch Fällung der Stromata oder des Hämoglobins beruhen, ist jedoch stets an zwei Bedingungen geknüpft, erstens Überführung der ausfallenden Kolloide in hydrophode Form, zweitens Herstellung der isoelektrischen Reaktion. Agglutination durch Stromatafällung erfolgt nur durch Kationen, Lyse sowohl durch Anionen wie Kationen.

Handovsky (Göttingen) hat „die quantitativen Beziehungen zwischen Salz- und Giftkonzentration bei der Saponinhämolyse“ untersucht. Er findet die Hämolyse der roten Blutkörperchen in saponinhaltigen isotonischen Kochsalzzuckergemischen bei konstanter Saponinkonzentration um so größer, je höher die Kochsalzkonzentration, und weiter die Verstärkung der Giftwirkung durch das Kochsalz gegenüber der Giftwirkung in reiner Rohrzuckerlösung um so größer, je höher die verwendete Saponinkonzentration. Diese Abhängigkeit der Hämolyse von Salz und Saponinkonzentration läßt sich berechnen und stimmt mit den



beobachteten Werten sehr gut überein. Die Verstärkung der Saponinwirkung durch Kochsalz entspricht in ihrem Verlauf der Verstärkungsadsorption von Fettsäuren an Tierkohle durch Kochsalz. Man kann daraus schließen, daß Kochsalz die Oberflächenspannung der Zellen erhöht und dadurch eine intensivere Bindung des stark oberflächenaktiven Saponins ermöglicht.

Werner Lipschitz (Frankfurt a. M.): Die Wirkung von Giften auf die energieliefernden Zellprozesse. Verfasser beschreibt eine kolorimetrische Methode, die auf der biologischen Reduktion des farblosen m-Dinitrobenzol zum gelben m-Nitrophenylhydroxylamin basiert, und die gestattet, Atmungs- und Gärungsgeschwindigkeit von Zellen vergleichend-quantitativ zu verfolgen. Die Versuche wurden an atmenden Froschmuskulzellen, gärenden Askariszellen und an Regenwurm-muskulzellen ausgeführt: die Nitroreduktion ist thermolabil und an die Gegenwart von Kof ferment gebunden. Sie wird durch unspezifische Narkotika nach dem Gesetz der homologen Reihen gehemmt; die Hemmungskurven sind linear; Kombination von Narkotizis ergibt Additionswirkungen. — Speziell die Reduktionswirkung der atmenden Froschmuskulzellen ist an die Intaktheit der Zellstruktur gebunden und durch optimale Sauerstoffversorgung der Zellen komplett, aber reversibel aufzuheben. Im Gegensatz dazu bleibt die Reduktion der gärenden Askariszellen bei Strukturzerstörung ungehemmt und ist durch Sauerstoff nicht zu unterdrücken. Sie ist ferner wenig empfindlich gegen Blausäure. Dagegen ist die Blausäurewirkung auf die atmenden Muskelzellen nicht einfach durch den Begriff der Oxydationshemmung geklärt, vielmehr dürfte es sich bei der Blausäurewirkung um eine Art „Umschaltung“ der Reduktion handeln: sie ist nämlich im Gegensatz zum Verhalten unvergifteter Muskelzellen weder durch Sauerstoffzufuhr noch durch Strukturzerstörung, noch durch vergrößerte Blausäurekonzentration zu unterdrücken, bleibt aber thermolabil und an das Vorhandensein von Kof ferment gebunden, d. h. aus der „atmungsartigen“ Nitroreduktion unvergifteter Muskelzellen ist durch Blausäurevergiftung „gärungsartige“ Nitroreduktion entstanden, ähnlich derjenigen der Askariszellen.

Heubner (Göttingen) und Rona (Berlin) haben Versuche zur Klärung der Kalkwirkung angestellt; sie haben Katzen subkutan einmal, oder über längere Zeit verteilt, wechselnd große Mengen Chlorcalcium beigebracht und dann die Organe auf Calciumgehalt im Vergleich mit normalen Organen nicht behandelter Tiere untersucht. Dabei hat sich erstens ein sehr wechselnder Calciumgehalt bei Normaltieren ergeben, und zweitens kein Unterschied gegenüber kalkbehandelten Tieren. Da bei diesen letzteren aber mitunter deutliche Wirkungen des Kalkes vorhanden waren, z. B. Hemmungen der Senfölechemosis, scheint es unmöglich, diese Kalkwirkungen etwa auf eine Vermehrung der absoluten Kalkmengen in den Organen zurückzuführen. Auch die Annahme einer Verschiebung zwischen ionisiertem und nichtionisiertem Anteil des Kalkes ist schwer haltbar.

Wataru Hirose (Berlin) berichtet über die Wirkung von Selen und Tellur auf den Kreislauf. Der Unterschied in der Giftwirkung zwischen der dreiwertigen arsenigen Säure und der fünfwertigen Arsensäure konnte in analoger Weise konstatiert werden bei der tellurigen Säure gegenüber der Tellursäure und bei der selenigen Säure gegenüber der Selensäure, wobei als Indikator das isolierte Froschherz und der Blutdruck des Kaninchens dienen.

Joachimoglu (Berlin) berichtet über die Wirkungen des Kohlenoxysulfids. Kohlenoxysulfid erzeugt bei Fröschen bei niedriger Konzentration reversible Lähmung des Zentralnervensystems, bei höheren Konzentrationen Tod ohne spektroskopisch nachweisbare Blutveränderung; bei Kaninchen Reizung der Schleimhäute, Krämpfe, Lähmungserscheinungen besonders des Atemzentrums und nach häufigen subletalen Vergiftungen Gleichgewichtsstörungen. Im ganzen ähnelt die Kohlenoxysulfidvergiftung der Schwefelwasserstoffvergiftung.

G. S. Santesson (Stockholm): Einiges über Metallkatalyse und Katalasewirkung. Verfasser hat mit einem besonderen Apparat, der von Minute zu Minute die entwickelten Sauerstoffmengen angibt, vergleichende Versuche über die Wirkung verschiedener Agentien teils auf Metallkatalyse (Kollargol —  $H_2O_2$ ), teils auf Katalasewirkung (Froschmuskelextrakte —  $H_2O_2$ ) angestellt. Mit Kurven wurden demonstriert der Einfluß der Katalysator- bzw. Katalasemenge, der Temperatur, des NaCl, des KJ, des KCN, der KOH bzw. NaOH. Außerdem wurden die Wirkungen verschiedener anderer Elektrolyte (Salzen, Säuren) besprochen. Diese haben im allgemeinen die Metallkatalyse stärker beeinflußt als die Muskelkatalyse — sowohl in schwächerer als in fördernder Richtung. Eine eingehende chemische Deutung der Resultate scheint noch nicht möglich.

Strosz und Wiechowski (Prag) berichten „über die Pharmakologie des Kampfers“. Dabei hat sich ergeben, daß der Kampfer mit wenigen Ausnahmen lähmende Eigenschaften besitzt; weiter erniedrigt er die Temperatur. Die Gehirn- und Rückenmarkskrämpfe kann man als ausgesprochenes Exzitationsstadium ansprechen, bei einer im übrigen narkotisch wirksamen Substanz, analog den gleichartigen Wirkungen z. B. des Äthylalkohols. Der im übrigen unlegbare Unterschied zwischen den Wirkungen von Kampfer und den typischen Narkotika dürfte seinen Grund in Empfindlichkeitsunterschieden der einzelnen Organe haben. Mit dieser Auffassung des Kampfers als Narkotikum stimmt überein seine große Lipoidlöslichkeit und eine gewisse Wasserlöslichkeit. Die Herzwirkung des Kampfers wird vom Vortragenden im wesentlichen als eine Lähmung gedeutet und eine, wenigstens praktisch bedeutungsvolle Erregung der Reizerzeugung gelegnet.

Weiter haben Wiechowski und H. Halphen (Prag) „Untersuchungen über die wirksame Substanz Mutterkorn“ angestellt. Dabei wurde gefunden, daß Mutterkornauszüge das Folinsche Reagens bläuen und daß die Intensität dieser neuen Farbreaktion weitgehend parallel geht der Wirksamkeit der betreffenden Extrakte auf den Meerschweinchenuterus.

Frommherz (Höchst) hat die Wirkungsstärke der verschiedensten Lokalanästhetika vergleichend geprüft einerseits am sensiblen Nervenende (Cornea, Pfote von Rana temporaria), andererseits am Nervenstamm (Nervus ischiaticus vom Frosch und Kaninchen). Ordnet man nun die Lokalanästhetika nach ihrer Wirkungsstärke am Nervenende, so erhält man ganz andere Reihenfolgen als bezüglich ihrer Wirkung am Nervenstamm: so besitzen z. B. gewisse gemischte Kohlen säure ester derivate gute Nervenstammwirkung gegenüber einer 500fach schwächeren Nervenendwirkung, während die Hydrocupreinderivate an beiden Stellen gleich wirken. Diese Unterschiede hängen mit folgendem zusammen: Leicht in unwirksame Komponenten spaltbare oder leicht diffundierbare Präparate



kommen an der Schleimhaut nicht zur Wirkung, können aber infolge der Applikationstechnik den Nervenstamm gut anästhesieren: Leitungsanästhesie. Stabilere und schwerer diffundierbare Präparate eignen sich auch zur Schleimhautanästhesie. Auf diesen Momenten beruht auch der wesentliche Unterschied zwischen Novokain als Leitungsanästhetikum und Cocain als Oberflächenanästhetikum.

Asher (Bern): „Ein neuer Beweis für die innere Sekretion des Ovariums.“

Fritz Eichholtz (Rostock): Über Lipämie.

Laqueur, Grevenstuk und Sluyten (Amsterdam) berichteten über „Resorption“ in der Lunge“, wobei die verschiedensten Lösungen intratraktal beigebracht und ihre Resorption verfolgt wurde.

Oppenheimer (Freiburg) hat gemeinsam mit Fr. Baur (Höchenschwand) die bekannten Beziehungen des Chlor und Brom im Organismus, die Gesetze über die Ausscheidung, Aufspeicherung und Verluste der beiden Halogene usw. mathematisch behandelt. Dabei gelingt es ihm z. B., rechnerisch den Gesamtgehalt eines Patienten an Natriumchlorid festzulegen und weiter gute Übereinstimmung zwischen vorausgerechneten und gefundenen Bromausscheidungswerten zu finden.

Schüller, Freiburg.

## Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

Die Sitzung am 3. Dezember 1921 stand unter dem Eindruck der einhelligen Forderung aller geographischen Kreise: **Mehr Geographie in die Schule!** Dieses Thema wurde vom vaterländischen, staatsbürgerlichen, wirtschaftlichen, wissenschaftlichen, historischen, erzieherischen und schultechnischen Standpunkt aus behandelt und seine Berechtigung von Vertretern der Verwaltung, wirtschaftlicher Verbände, der Handelskammern, der Kaufmannschaft, der Tagespresse, der Schulen, Hochschulen, Universitäten usw. dargelegt. Es sprachen außer dem Vorsitzenden der Gesellschaft, Geheimrat Penck, noch Geheimrat Mellmann, Ober-Studiendirektor Fow (Breslau), Studienrat Otto, Oberstudienrätin Beer, Professor Lampe, Geheimrat Kühne, Professor Georg Wegener, Oberschulrat Südhof (Bukarest), Chefredakteur Dia, Justizrat Waldschmidt, Oberregierungsrat v. Loeschebrand, Professor Heinrich Fischer, Stadtschulrat Anders, Studienrat Müller, Professor Walther Vogel. Aus den vielen vorgebrachten Einzelheiten seien die folgenden herausgegriffen. Schon die erste Prüfungsordnung über das Abiturientenexamen forderte ein Examen in der Erdkunde, wogegen die Prüfungsordnung von 1810 merkwürdigerweise Prüfungen in allen Fächern zuläßt, nur nicht in der Geographie. Es handelt sich beim geographischen Unterricht nicht lediglich um Fachwissen, sondern um eine Frage der allgemeinen Bildung. Erst die Kenntnis des Landes auf der Grundlage von Boden, Klima und Wirtschaftsleben und die geographische Einstellung der Denkweise ermöglicht eine richtige Auffassung von der Erde als einheitlichem Wirtschaftskörper und vermittelt politische Urteilsfähigkeit. Anzustreben ist ein Verständnis für die verschiedenen Länder und Landschaften, aus dem sich vielfach auch die Eigenart der Bevölkerung erklären läßt. In erster Linie muß die Kulturgeographie gepflegt werden, die auch das Werk des Menschen an der Umwandlung der Naturlandschaft umfaßt. Die Geographie ist geeignet, im Mittelpunkt des Unterrichtes zu stehen, weil sie

als einziges Fach das Volk in seiner Gesamtheit betrachtet. Von Unterrichtsmitteln wurden empfohlen: Freiluftunterricht für die unteren Klassen, Ausbau der geographischen Wanderungen in den oberen Klassen, Lehrfilme und andere Anschauungsmittel. Der Unterricht muß ausschließlich von Fachmännern erteilt werden, die nicht nur das Lehrgebiet völlig beherrschen, sondern es auch verstehen, bei den Schülern Lust und Liebe zur Erdkunde zu erwecken und in ihnen den Wunsch rege zu machen, noch mehr zu lernen.

In der Fachsitzung am 19. Dezember hielt Dr. W. Behrmann (Berlin) einen Vortrag über die **Kunst der Steinzeit in Neu-Guinea**. An zahlreichen schönen Lichtbildern zeigte der Vortragende, wie die Einwohner des Landes, die das Metall nicht kennen, sondern noch der Kulturepoche der Steinzeit angehören, in geschmackvoller und künstlerisch hervorragender Weise sich selbst und ihre Gebrauchsgegenstände ausschmücken. Die Arbeiten werden meist durch Brennen, Kratzen mit Vogelkrallen oder Fischgräten und Bemalen in den Farben schwarz, weiß und rot mittels Kohle, Kalk und lehmiger Verwitterungserde ausgeführt. Als Zierate zum Schmuck des Körpers dienen: Eber- und Hundezähne, geschliffene Rückgratsknochen von Hunden, Schneckengehäuse, Muschelschalen und gebleichte Grassamen. Die Haare werden oft in Zylinderform zusammengepreßt, die Stirn mit Diademen, Reiher- und Kasuarfedern usw. geschmückt. Der verzierte Ring um den linken Oberarm dient mangels jeder Bekleidung als Tasche, auch als Aufbewahrungsort für den aus dem Beinknochen des Kasuars kunstvoll geschliffenen und verzierten spitzen Dolch. Der Lendenschurz besteht aus Bast oder Rotang. Die Durchbohrung der Nasenseidewand ermöglicht die Anbringung von Stäbchen, Zähnen und anderen Schmuckgegenständen. Typisch sind die Ziernarben, die namentlich um Nabel und Brustwarzen oft zu förmlichen Schnitzarbeiten ausgestaltet werden. Die Gesichter werden bemalt, wobei die Individualität jedes einzelnen völlig gewahrt bleibt. Auch die Arabesken auf dem großen Schutzschilde lassen dessen Zugehörigkeit zu einem bestimmten Krieger erkennen.

Die Tongefäße werden ohne Drehscheibe mit der Hand geknetet und nicht gebrannt. Trotzdem findet man solche bis zu 1,2 m Höhe. Oft sind sie kunstvoll modelliert und angemalt. Auch alle sonstigen Gebrauchsgegenstände, wie Sessel, Speerschleudern, Betelkalebassen und die dazu gehörigen Spachtel, Farbschalen, ja selbst die bei dem Reichtum an Ungeziefer sehr nötigen Haarkratzer werden durch Schnitzereien und Verzierung mit Papageienfedern oft zu prächtigen kleinen Kunstwerken ausgestaltet.

Das Gebälk wie der Giebelschmuck der Hordenhäuser, deren Wohnboden auf Pfahlrost 6 m über der Erdoberfläche liegt, sind oft von vollendeter Schönheit. Aus bemalter Baumrinde werden groteske Tanzmasken angefertigt, die Ungeheuer darstellen und gelegentlich so riesige Dimensionen erreichen, daß sie von 20 Männern getragen werden müssen. Ihre großartigste Vollendung aber erreichen die Kunstformen in den Schnäbeln der Einbäume. Diese primitiven Fahrzeuge, die, mit 20 bis 28 Ruderern bemannt, eine große Geschwindigkeit erzielen können, tragen wundervolle Gallionsfiguren, in denen das Krokodilmotiv meist in Verbindung mit Vogelgestalten, durchaus vorherrscht.

O. B.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 7. (Seite 145--168)

17. Februar 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Über die metasomatischen Prozesse in Silikatgesteinen. Von **V. M. Goldschmidt**, *Kristiania*. S. 145.  
Der blaue Himmelsraum ist in Wirklichkeit blendend goldig bei Tag, silbern bei Nacht. Von **Wilhelm Roux**, *Halle a. S.* S. 152.

Über die Regulation des Wasserhaushaltes im Tierkörper und die Durstempfindung. Von **C. Oehme**, *Bonn*. (Mit 4 Abbildungen.) S. 154.

### Besprechungen:

Cockayne, L., *The Vegetation of New Zealand*. Von **W. Wangerin**, *Danzig-Langfuhr*. S. 159.  
Engler, A., *Die Pflanzenwelt Afrikas*, insbesondere seiner tropischen Gebiete. Von **W. Wangerin**, *Danzig-Langfuhr*. S. 159.  
Lucanus, Friedrich von, *Die Rätsel des Vogelzuges*. Von **Herman Schalow**, *Berlin*. S. 158.  
Tigerstedt, Robert, *Die Physiologie des Kreislaufs*. Von **Leon Asher**, *Bern*. S. 160.  
Krais, Paul, *Werkstoffe*. 1. Band, A—F. Von **G. Masing**, *Berlin*. S. 160.  
Wissenschaftliche Forschungsberichte. Bd. III. Organische Chemie, bearbeitet von **R. Pummerer**. Von **P. Friedländer**, *Darmstadt*. S. 161.

Lippmann, Edmund O. von, *Zeittafeln zur Geschichte der organischen Chemie*. Von **P. Friedländer**, *Darmstadt*. S. 162.

Deutsche Geologische Gesellschaft zu Berlin:

Altersverhältnis der herzynischen und rheinischen Dislokationen. Neue geologische Übersichtskarte der Provinz Brandenburg. S. 162.

Physikalische Mitteilungen. S. 163—166.

Der positive Spitzenstrom. Eine neue Methode zur Bestimmung des Durchmessers von Gasmolekülen. Die Lichtgeschwindigkeit in Elektronenstrahlen. Eine neue Methode der Röntgenstrahlenerzeugung.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten. S. 166—168.

Der Kruppsche nichtrostende Stahl V 2 A. Der Damascener Stahl. Entschwefelung des Gußeisens nach dem Verfahren von Walther. Entfernt sich Grönland von Europa? Schallortung. Die photographische Messung der Meereswellen. Entwicklung des Lokomotivbaues. Das Flüssigkeitsübersetzungsgetriebe von Lentz.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

SOEBEN ERSCIEN:

## AUS MEINEM LEBEN

VON

**EMIL FISCHER**

MIT DREI BILDNISSEN

(VIII, 202 S.)

(Emil Fischer gesammelte Werke  
Herausgegeben von M. Bergmann)

Gebunden Preis M. 75.—

ZU BEZIEHEN DURCH JEDE BUCHHANDLUNG

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 40.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 4.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 18 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24.  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 650-59. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20220 Julius Springer,  
für Anzeigen- u. Beilagenbeträge: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.  
Konten: für alle übrigen Zahlungen: Berlin Nr. 11100 Julius Springer.

**Große chemische Fabrik Mitteleuropas**  
sucht für ihre wissenschaftliche Abteilung  
für Schädlingsbekämpfung einen jüngeren

# Akademiker

Bedingung:

Spezialstudium in Entomologie und  
gründliche botanische Kenntnisse.

Bewerbungsschreiben unter **Nw. 276** an  
die Expedition dieser Zeitschrift erbeten.

(276)

**Die Naturwissenschaften**  
1915 bis 1920  
zu kaufen gesucht.

Angebote unter **Nw. 236** an die Expedition dieser  
Zeitschrift erbeten.

(236)

# Mikroskop

zu kaufen gesucht.

(274)

Angebote unter **F. C. 4054** an **Rudolf Mosse, Cassel.**

Man verlange  
Listen!



**Projektions-Apparate Liesegang**

Hochkerziges

# Globoscop

entwirft scharfe, helle Lichtbilder nach jedem Papier-  
bild. An jede elektrische Lichtleitung anzuschließen.

**Neue große Lichtbilder-Sammlung**  
aus allen Gebieten  
für Lehr- und Vortragszwecke!

**Ed. Liesegang, Düsseldorf**  
Brieffach 124



## Über die metasomatischen Prozesse in Silikatgesteinen.

Von V. M. Goldschmidt, Kristiania.

Der Begriff der Metasomatose, so wie ihn ursprünglich K. F. Naumann definiert hat, bezeichnet gewisse Arten der Pseudomorphosen, nämlich solche, die durch chemische Umsetzungen auf Kosten des ursprünglichen Minerals gebildet worden sind. Jede Mineralumbildung durch chemische Umsetzungen würde demnach als Metasomatose zu bezeichnen sein, und in diesem Sinne wären die meisten Mineralneubildungen in metamorphen Gesteinen als metasomatische zu benennen. Indessen hat der Begriff der Metasomatose später eine engere Bedeutung erhalten, man bezeichnete mit ihm solche Umbildungen der Gesteine, die nicht nur unter Veränderung der Einzelminerale, sondern unter wesentlicher Veränderung der ganzen chemischen Gesteinszusammensetzung vor sich gehen. Eine Metasomatose in diesem Sinne wäre beispielsweise die Umbildung von Kalkstein zu Dolomit. Die Definition, daß die Metasomatose Umbildung eines Gesteins unter wesentlicher Veränderung der Totalzusammensetzung sei, ist indessen auch nicht ganz befriedigend; wird beispielsweise ein Kalksandstein durch Kontaktmetamorphose in Wollastonitfels umgewandelt, unter Austreibung der Kohlensäure, so pflegen wir dies nicht als Metasomatose zu bezeichnen, trotzdem die Zusammensetzung des Gesteins durch den Kohlen säureverlust wesentlich geändert wird. Wir pflegen nämlich die Bezeichnung Metasomatose speziell auf solche Prozesse anzuwenden, bei welchen eine Zufuhr zu dem umgewandelten Gestein stattfindet.

Unsern Darlegungen werden wir folgende Definition der Metasomatose zugrundelegen: „*Metasomatose ist eine Umbildung eines Gesteins, bei welcher dem Gestein Substanz zugeführt wird, wobei die Bindung oder Anreicherung der zugeführten Substanz durch bestimmte chemische Reaktionen stattfindet, an welchen sowohl ursprüngliche wie neugebildete Minerale teilnehmen.*“

Durch eine solche Definition werden reine Imprägnationsvorgänge vom Begriff der Metasomatose ausgeschlossen. An dem chemischen Prozeß der Metasomatose nehmen einerseits ursprüngliche Mineralkomponenten des Gesteins teil, andererseits die zugeführten Stoffe, letztere entweder in Form von Gasen, flüssigen Lösungen oder Schmelzlösungen. Das Resultat der Reaktion sind neugebildete Minerale sowie eventuelle Nebenprodukte der Reaktion. Wenn keinerlei

metasomatische Umsetzungen stattfänden, so würde die chemische Zusammensetzung aller metamorphen Gesteine durchaus der Zusammensetzung des Ursprungsmaterials entsprechen, abgesehen von eventuellem Verlust flüchtiger Bestandteile und abgesehen von Substanztransport durch gewöhnliche Auslaugung und Imprägnation; dann würde Rosenbuschs Regel von der Permanenz des chemischen Bestandes fast ausnahmslos gültig sein. Aber tatsächlich gibt es viele Ausnahmen von dieser Regel, bedingt durch die metasomatischen Prozesse.

Bisher hat man solchen Prozessen besonders bei der Umbildung von Karbonatgesteinen Gewicht beigelegt, aber auch unter den Silikatgesteinen sind eine Anzahl von Fällen beobachtet worden, auf welche besonders W. Lindgren aufmerksam gemacht hat, als er die Geologie gewisser Erzlagerstätten beschrieb. Danach hat besonders P. Eskola auf die geologische Bedeutung mancher silikatmetasomatischer Vorgänge hingewiesen. Als Beispiele solcher metasomatischer Umbildung von Silikatgesteinen in der Nachbarschaft von Erzlagerstätten kann ich die Greisenbildung, die metasomatische Skapolithbildung, die Entstehung von gewissen Magnesiumsilikatgesteinen erwähnen. Daß solche Prozesse bisher überwiegend in der Umgebung von Erzlagerstätten beobachtet wurden, ist durch zweierlei Ursache bedingt. Erstens sind viele Erzlagerstätten und deren Nachbarschaft der Schauplatz besonders intensiver chemischer Umsetzungsvorgänge, die teils den Vorgang der Erzanreicherung begleiten, teils ihm folgen. Zweitens veranlaßt der praktische Wert der Erzlagerstätten in vielen Fällen, daß man ihren Gesteinen besonders eingehende chemische und mikroskopische Untersuchungen widmet.

Eine kritische Übersicht zeigt indessen, daß auch unabhängig von Erzlagerstätten metasomatische Vorgänge in höchst mannigfaltiger Weise an der Umbildung von Gesteinen tätig sind. Eine große Anzahl von Gesteinen hat ihr Gepräge durch metasomatische Stoffwanderungen erhalten, so daß man die *Gesteinsbildung durch Metasomatose* geradezu als einen eigenen Haupttypus aufstellen kann, gleichberechtigt der Gesteinsbildung durch magmatische Erstarrung, durch Sedimentation und derjenigen durch „normale“ Metamorphose ohne Stoffzufuhr. Im petrographischen System würden dann zwei Arten von metamorphen Gesteinen zu unterscheiden sein.

1. Die Produkte der „normalen“ Metamorphose, welche den stofflichen Bestand des Aus-

gangsmaterials, unverändert durch Stoffzufuhr, aufweisen;

2. die Produkte der metasomatischen Metamorphose, welche ihren stofflichen Bestand *unter wesentlicher Mitwirkung von Zufuhr* erhalten haben.

Bereits bei meinen Untersuchungen über die Kontaktmetamorphose im Kristiania-Gebiete (13)<sup>1)</sup> habe ich auf diese zwei Typen der Kontaktgesteine hingewiesen, und eine analoge Unterscheidung dürfte auch bei den kristallinen Schiefern zu fruchtbaren Resultaten führen. Man darf bei metamorphen Gesteinen keineswegs ohne weiteres aus dem chemischen Bestande des neugebildeten Gesteines auf den des Ursprungsmaterials zurückschließen. Die Mißachtung dieses Umstandes hat bei der Deutung metamorpher Gesteine schon oft zu Fehlschlüssen geführt. Ich brauche nur daran zu erinnern, daß die Anthophyllitschiefer keineswegs immer Abkömmlinge von Magnesiumsilikat-Eruptivgesteinen sind, sondern sicher in den weitaus meisten Fällen Derivate von Quarziten oder anderen kieselsäurereichen Gesteinen, die durch magnesiumhaltige Lösungen metasomatisch umgewandelt sind; daß fast alle Andraditgesteine metasomatische Produkte von Kalkstein darstellen; daß viele granitoid zusammengesetzte Gneise als Produkte der metasomatischen Verfeldspatung von Tongesteinen gebildet sind.

Noch ein Umstand mag erwähnt werden, der ebenfalls auf die Häufigkeit metasomatischer Prozesse bei der Gesteinsmetamorphose hinweist. Wie auffällig ist es doch, daß aus den Gebieten kristalliner Schiefer so ungemein viele Gesteine als Derivate von Tuffen gedeutet worden sind. In metamorphen Gebieten sollten, falls diese Deutungen sämtlich richtig wären, Tuffe viel häufiger sein als in unmetamorphen Gesteinen. Man hat offenbar in vielen Fällen die chemische Zusammensetzung metasomatischer Gesteine, mit dem Fehlen ausgeprägt sedimentärer oder ausgeprägt magmatischer Kennzeichen, als Beweis der Tuffnatur angesehen, ohne an die Möglichkeit metasomatischer Stoffwanderungen zu denken.

Eine eingehende Systematik der metasomatischen Vorgänge fehlt uns noch gänzlich, einen ersten Ansatz zu der Systematik der Silikatmetasomatose habe ich vor einiger Zeit veröffentlicht (15, S. 132—137) und später etwas weiter ausgearbeitet (16). Im folgenden soll eine *Systematik der silikatmetasomatischen Prozesse* versucht werden, erläutert an Beispielen der einzelnen Arten.

Bei der allgemeinen Systematik der metasomatischen Vorgänge ist es zweckmäßig, die Art des *Ausgangsmaterials* als Einteilungsgrundlage

zu benutzen. Wir erhalten dann vier Hauptarten der metasomatischen Prozesse:

- |   |  |
|---|--|
| Metasomatose der Silikatgesteine (und der Kieselsäuregesteine), |  |
| „ „ Karbonatgesteine,   |  |
| „ „ Salzgesteine,   |  |
| „ „ Sulfidgesteine.   |  |

Ein Beispiel der ersten Art wäre etwa die Skapolithisierung eines Plagioklasgesteines oder die Anthophyllitbildung auf Kosten von Quarzit, ein Beispiel der zweiten Art die Umwandlung eines Kalksteins zu Eisenspat oder zu Andradit; ein Beispiel der dritten ist etwa die Umwandlung von Anhydrit zu Polyhalit oder zu Glaubertit; der vierte Fall wird beispielsweise durch viele der Umwandlungsvorgänge in der Zementationszone sulfidischer Erzlagerstätten vertreten.

Außer diesen vier Hauptarten der Metasomatose wären noch einige Fälle von untergeordneter Wichtigkeit zu nennen, wie etwa die Metasomatose oxydischer Gesteine, Metasomatose der Kohlengesteine (wie Vanadiumanreicherung in gewissen Kohlen).

Während diese Haupteinteilung nach der Art des *Ausgangsmaterials* geordnet ist, kann eine weitere Unterteilung zweckmäßig die Art der *zugeführten Stoffe* zugrunde legen. Versuchen wir auf dieser Grundlage eine Einteilung der silikatmetasomatischen Vorgänge, so erhalten wir zunächst zwei Gruppen:

1. *Silikatmetasomatose unter Zufuhr von Metallverbindungen,*
2. *Silikatmetasomatose unter Zufuhr von Metalloiden und Metalloidverbindungen.*

Wir wollen zuerst die Silikatmetasomatose unter Zufuhr von Metallverbindungen behandeln. Je nach der Art des zugeführten Metalles können wir eine weitere Unterteilung durchführen, in Alkalimetasomatose, Magnesiametasomatose, Kalkmetasomatose usw. Entschieden am häufigsten ist die Alkalimetasomatose. Dies hat seinen Grund wohl in der relativ großen Löslichkeit der meisten Alkaliverbindungen mit Ausnahme der Komplexsilikate von Alkali mit Tonerde und Eisen, die wir daher als metasomatisch neugebildete Minerale antreffen. Die Alkalimetasomatose kann wiederum in verschiedene Untergruppen eingeteilt werden, je nach der Art des chemischen Vorganges bei der Alkalibindung.

#### *Alkalimetasomatose.*

- A. Metasomatischer Alkaliaustausch:  
Beispiele: Bildung von Myrmekit oder „Schachbrettalbit“ aus Kalifeldspat, Bildung von Adular aus Plagioklas (in Propyliten), Bildung von Muskovit aus Nephelin.
- B. Alkali wird durch einen Tonerdeüberschuß im ausfällenden Mineral gebunden:  
Beispiele: Metasomatische Feldspatbildung in Injektionskontaktzonen,

<sup>1)</sup> Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schlusse dieser Abhandlung.



metasomatische Feldspatbildung in Hornfels-schollen,  
metasomatische Feldspatbildung in pyro-metamorphen Gesteinen.

C. Alkali wird durch Silikate von Mg, Fe<sup>II</sup>, Fe<sup>III</sup> gebunden:

Beispiele: Biotitbildung in Amphiboliten in Kontaktzonen,

Ägirinbildung in gewissen Kontaktzonen.

D. Alkali (und Tonerde) wird durch Quarz ge-bunden

Beispiel: „Syenitisierung“ von Granit in ge-wissen Alkalikontaktzonen.

Die beiden ersten unter A erwähnten Bei-spiele, einerseits Bildung von Myrmekit oder „Schachbrettalbit“ auf Kosten von Kalifeld-spat (1), andererseits Bildung von Adular aus Plagioklas (17, S. 469) zeigen uns, daß der Rich-tungssinn einer metasomatischen Umsetzung nicht immer eindeutig derselbe sein muß, sondern wechseln kann, je nach den Konzentrationsver-hältnissen der zugeführten Lösungen und den Temperatur- und Druckverhältnissen während der Reaktion, ein Umstand, der sich ja bekannt-lich überhaupt nicht selten in der Bildung sozu-sagen „reversibler“ Mineralpseudomorphosen gel-tend macht.

Ein sehr verbreiteter Fall ist B, die metaso-matische Feldspatbildung auf Kosten von Mine-ralen und Gesteinen mit „Tonerdeüberschuß“, das heißt mit einem Tonerdegehalt, der höher ist, als es dem Molekularverhältnis  $Al_2O_3 : Na_2O + KO_2 = 1$  entspräche. Eine Reihe von Beispielen sind teils von mir, teils von anderer Seite be-schrieben worden (1, 2, 4, 5, 6, 13, 15). Die Adinolbildung aus Tonschiefern in Diabaskon-taktzonen dürfte wohl zu derselben Gruppe von metasomatischen Erscheinungen zu rechnen sein. Hierher gehört offenbar auch die Verdrängung von Kalk durch Natron aus kalkhaltigen Plagio-klasen, wie sie durch P. Geijer und N. Sundius aus dem Kirunagebiet beschrieben worden ist (11, 19, 20), also eine Albitisierung der Plagio-klase, die unter Natronzufuhr stattfindet, im Gegensatz zu der gewöhnlichen Saussuritbildung, die ohne Änderung des Gesamtgehaltes an Natron verläuft. Es ist nicht ausgeschlossen, daß auch manche Glaukophangesteine ihren jetzigen chemischen Bestand durch metasomatische Na-tronzufuhr erhalten haben.

Ebenfalls häufig ist der Fall C, Bindung von Alkali durch die Eisen-Magnesium-Minera-le des ursprünglichen Gesteins. Die Biotitbildung auf Kosten von Amphibol ist beispielsweise durch F. Becke beschrieben worden (2), die Bildung von Ägirin mittels metasomatischer Natronan-reicherung in Kontaktgesteinen von mir (14).

Der unter D angeführte Fall, die Bildung von Feldspaten aus Quarz durch Zufuhr von Alkali und Tonerde, die entweder in der Form von gelösten Alkalialuminaten oder als Nephelin-lösung zugeführt worden sind, ist in den Kon-

taktzonen um Ijolithe und verwandte nephelin-reiche Tiefengesteine anscheinend sehr verbreit-et. Er äußert sich besonders in der Bildung syenitartiger metasomatischer Gesteine aus Gra-niten. Ein Beispiel, das ich Gelegenheit hatte, gemeinsam mit meinem Kollegen, Prof. W. C. Brögger recht eingehend zu studieren, ist kürz-lich von Brögger beschrieben worden (7, S. 150 bis 167), nämlich die Bildung des „Fenit“ aus archaischen Graniten in der Kontaktzone der Alkaligesteine des Fengebietes in Telemarken.

#### *Magnesiametasomatose.*

Magnesia wird durch Quarz oder saure Sili-kate gebunden, wobei besonders Anthophyllit, da-neben auch Cordierit, entsteht:

Beispiele sind die Magnesiumsilikatgesteine in manchen granitischen Kontaktzonen.

Metasomatische Gesteinsbildungen dieser Art sind zuerst von P. Eskola unter den Ge-steinen des Orijärvigebietes in Finnland er-kannt worden (8, 9, 10). Analoges beschreibt P. Geijer aus dem Falungebiet in Schweden (12). Auch anderwärts dürfte Analoges häufig vorkommen. Eigentümlich und offenbar charak-teristisch ist die Verknüpfung dieser „Magnesia-skarne“ mit bestimmten Typen sulfidischer Erz-lagerstätten. Im Anschluß an seine Unter-suchungen über die Magnesiumsilikatgesteine des Orijärvigebietes und an Geijers Untersuchungen über die Erzlagerstätten von Falun hat Eskola auch auf die große allgemeine Bedeutung der Silikatmetasomatose hingewiesen.

Daß Magnesiumverbindungen als Bestandteile zirkulierender Lösungen weit verbreitet sind, äußert sich bekanntlich in der häufigen Dolomi-tisierung von Kalksteinen. Es mag im Zusam-menhang mit der Magnesiametasomatose erwähnt werden, daß wässerige Lösungen von Magne-siumsalzen die Fähigkeit haben, bedeutende Men-gen von Kieselsäure in Lösung zu halten. Dies ist den Silikatanalitikern seit langem bekannt; ich habe auch durch direkte Versuche feststellen können, daß bei dem Aufschluß des Olivins mit verdünnten Säuren ein großer Teil der Kiesel-säure mit in Lösung geht; es entsteht sozusagen ein „Magnesiumwasserglas“.

#### *Kalkmetasomatose.*

Kalk wird durch einen Tonerdeüberschuß ge-bunden.

Beispiel: Epidotbildung auf Kosten von Glimmern.

Beispiele für diesen metasomatischen Pro-zeß habe ich aus den Injektionskontaktzonen des Stavangergebietes beschrieben (15). Auch gleichzeitige Kalk- und Magnesia-Metasomatose dürfte vorkommen, etwa unter Bildung von Am-phibol oder Pyroxen auf Kosten von Quarz und calcium-magnesiumhaltigen Lösungen. Hierher dürften die Malakolitgesteine von Skutterud in Norwegen gehören, worauf mich mein Kollege, Prof. J. Schetelig, aufmerksam gemacht hat.

*Eisenmetasomatose.*

A. Lösliche Eisensalze werden durch Silikate oder Quarz als Eisensilikate gefällt.

B. Lösliche Eisensalze werden durch Silikate unter Bildung von Eisenoxiden oder Hydroxyden umgesetzt.

Hierher gehören offenbar die Umsetzungen, welche zur Umwandlung von Diabasen, „Schalsteinen“ und Tonschiefern in Eisenerze geführt haben. In manchen Fällen, die hierher gezählt worden sind, könnten allerdings auch Umsetzungen ursprünglicher oder intermediär gebildeter Karbonatminerale eine Rolle spielen. Zum Fall A gehört die metasomatische Biotitbildung und Almandinbildung auf Kosten von Alkalifeldspat, die kürzlich durch *N. Sundius* beschrieben worden ist (21).

Analog der Eisenmetasomatose gibt es auch Fälle von Manganmetasomatose (3, Bd. II, S. 348).

*Nickelmetasomatose.*

Lösliche Nickelsalze werden von serpentinitähnlichen Silikaten als Garnierit gefällt.

Auf diese Art sind anscheinend die Garnieritlagerstätten gebildet worden.

Auch einige andere Fälle von Schwermetallanreicherungen wären in gewissem Sinne der Silikatmetasomatose zuzurechnen, nämlich die Ausfällung gediegener Metalle, wie Gold, Silber, Kupfer durch Eisenoxydulsilikate. Hierbei nehmen aber die Silikate nicht speziell als solche an der Reaktion teil, sondern es ist die reduzierende Wirkung ihres Eisenoxydulgehaltes, welche den Reaktionsverlauf leitet. Beispielsweise seien die Kupferlagerstätten vom Lake-Superior-Typus genannt.

Man könnte hier auch die Zinnoberanreicherung in Sandsteinen und Quarziten nennen, die wahrscheinlich durch folgende Reaktion gebildet wurden: Alkalische Lösungen von Alkali-Quecksilber-Sulfosalzen reagierten mit Quarz unter Bildung von Alkalisilikat und Ausfällung von Schwefelquecksilber.

Wir wollen dann die Silikatmetasomatose unter Zufuhr von Metalloiden oder Metalloidverbindungen erörtern. Auch hier können wir nach der Art der zugeführten Stoffe eine Reihe von Untergruppen unterscheiden, wie Halogenmetasomatose, Schwefelmetasomatose, Phosphormetasomatose usw. Die folgende Gruppierungsweise erscheint mir zweckmäßig.

*Fluor-Chlor-Bor-Metasomatose.*

A. Fluor oder Bor (eventuell beide gleichzeitig) werden durch einen Tonerdeüberschuß gebunden:

Beispiele: Topasbildung in Hornfelsen, Turmalinbildung in Hornfelsen.

B. Chlor oder Fluor (und Wasser) werden durch Feldspate gebunden:

Beispiele: Skapolithbildung auf Kosten von Feldspaten,

Greisenbildung bei Zinnsteinpneumatolyse und analogen pneumatolytischen oder hydrothermalen Vorgängen.

Zum Fall A ist zu bemerken: Die Bildung von Topas und Turmalin scheint vorzugsweise in Gesteinen mit Tonerdeüberschuß stattzufinden, besonders in metamorphen Tonschiefern (18, S. 124—126). Wo diese beiden Minerale metasomatisch in Feldspatgesteinen ohne ursprünglichen Tonerdeüberschuß gebildet sind, könnte man in manchen Fällen an eine intermediäre Bildung von Glimmern mit Tonerdeüberschuß denken.

Die Fälle B sind, ebenso wie A, in der Natur sehr verbreitet. Die Skapolithbildung auf Kosten von Feldspaten, insbesondere Plagioklasen, äußert sich unter recht mannigfaltigen geologischen Bedingungen. Sie kann regional auftreten, wie es *Sundius* aus dem Kirunagebiet beschrieben hat (19), sie kann auf Kontaktzonen beschränkt sein, wie ich es im Kristianiagebiet (13) beobachtet habe, oder sie kann an die unmittelbare Nachbarschaft pneumatolytischer Apatitgänge geknüpft sein, wie bei den Apatitgängen des südlichen Norwegens.

Die Greisenbildung ist bekanntlich an Zinnsteingänge und verwandte Bildungen geknüpft, sie ist übrigens durch alle Übergänge mit der hydrothermalen Sericitbildung aus Feldspat verbunden. Die typische Greisenpneumatolyse ist oft mit metasomatischer Lithiumanreicherung vergesellschaftet, diese Lithiumanreicherung ist offenbar verwandt mit dem Falle des metasomatischen Alkaliaustauschs.

*Schwefelmetasomatose.*

A. Sulfidbildung auf Kosten eisenhaltiger Silikate:

Beispiel: Schwefelkies- und Magnetkiesimprägnationen in ursprünglich schon eisenhaltigen Gesteinen in manchen Kontaktzonen.

B. Sulfatisierung von Feldspaten und Feldspatoiden:

Beispiel: Alaunsteinbildung durch vulkanische Exhalationen.

Ein Beispiel für den Fall A bilden die „Imprägnations“-Lagerstätten von Schwefelkies in metamorphen Phylliten in der Nachbarschaft von Intrusivgesteinen, die kürzlich von *Th. Vogt* als metasomatisch erkannt worden sind (22). Nach ihm sind sie durch Umsetzung von Schwefelwasserstoff mit dem eisenreichen Chlorit oder Biotit der Phyllite entstanden. Hierher gehört auch die Bildung von Sulfidmineralen durch Reduktion aus Sulfaten mittels eisenoxydulhaltiger Silikate, beispielsweise die Imprägnation basischer Laven mit Kupferglanz, wie wir sie in manchen Kontaktzonen des Kristianiagebietes antreffen. Dieser Fall ist analog der



Ausfällung gediegener Metalle durch eisenoxydulhaltige Silikate.

Der Fall B ist in vulkanischen Gebieten sehr verbreitet, die wirkenden Stoffe waren offenbar  $\text{SO}_2$  und  $\text{SO}_3$ , wohl meist in Gegenwart von Wasserdampf oder Wasser.

#### *Wasser-Kohlensäure-Metasomatose.*

Bindung von Wasser und Kohlensäure bei Diaphthorose oder Verwitterung, oft unter gleichzeitiger Auslaugung von ursprünglichen Gemengteilen der Silikate:

Beispiele: Bildung von Serpentin, Talk, Sericit, Chlorit, Kaolin, Laterit, Zeolithen, Saussurit, Prehnit, Karbonaten usw. auf Kosten der primären Silikate.

Hierher gehören, wie aus den aufgezählten Beispielen hervorgeht, eine Reihe wichtiger und verbreiteter metasomatischer Prozesse. Es kann wohl keinem Zweifel unterliegen, daß auch diejenigen Verwitterungsvorgänge, die unter Stoffaufnahme stattfinden, der Metasomatose zugehört werden müssen.

Die Sericitbildung auf Kosten anhydrischer Silikate ist mitunter als reine Hydratisierungsmetasomatose verlaufen, eventuell unter gleichzeitiger Auslaugung von Nebenprodukten. Außerdem gibt es aber noch einen besonderen Typus der Sericitisierung, welcher unter Kalizufuhr verläuft, wobei beispielsweise Plagioklasse sericitisiert werden, besonders in der Umgebung von Goldquarzgängen (17). Prozesse dieser Art sind offenbar nahe verwandt mit dem Falle der Muskovitbildung aus Nephelin (7, S. 144). Es handelt sich hier um Kombination von Alkalimetasomatose und Hydratisierungsmetasomatose.

#### *Phosphormetasomatose.*

A. Phosphorhalogenide setzen sich mit kalkreichen Silikaten zu Apatit um:

Beispiel: Apatitbildung durch Pneumatolyse in der Grenzzone basischer Eruptivgesteine.

B. Lösliche Phosphate setzen sich mit kalkreichen Silikaten zu Phosphorit um, oder mit tonerreicheren Silikaten zu Aluminiumphosphat:

Beispiel: Umwandlung von Silikatgesteinen unter Guanoablagerungen.

Das unter A angeführte Beispiel zeigt oft gleichzeitig die Umsetzungen, die für den Fall B der Chlormetasomatose (siehe oben) charakteristisch sind, nämlich Skapolithbildung auf Kosten von Plagioklas.

Der Fall B der Phosphormetasomatose wird von mehreren tropischen Guanoablagerungen beschrieben.

#### *Kohlenstoffmetasomatose.*

Ausfällung von Kohlenstoff durch Umsetzung eisenreicher Silikate mit  $\text{CS}_2$  oder COS unter Bildung von Graphit, Eisensulfiden und Quarz:

Beispiel: Graphitbildung in Begleitung von Kiesimprägnationen.

Die häufige Assoziation von sekundären Kiesimprägnationen und sekundärer Graphitbildung, besonders in eisenreichen Silikatgesteinen, wie beispielsweise in Amphiboliten, deutet entschieden auf gemeinsame metasomatische Bildung von Graphit und Sulfiden. Experimentelle Untersuchungen über die hierbei in Betracht kommenden Reaktionen sind seit mehreren Jahren in Bearbeitung im Institute des Verfassers.

#### *Kieselsäuremetasomatose.*

Umwandlung von Silikatgesteinen in Opal oder Quarz durch Zufuhr von Kieselsäure.

Verkieselung von Silikatgesteinen wird von zahlreichen Fundorten beschrieben (beispielsweise 17, S. 544), und zwar unter ganz verschiedenartigen geologischen Verhältnissen. Die chemischen Reaktionen, welche zur Verkieselung führen, sind noch in Dunkel gehüllt. In vielen Fällen ist hierbei Tonerde, ein sonst wenig mobiler Stoff, unzweifelhaft entfernt worden, wahrscheinlich in Form von Alkalialuminaten.

Die oben beschriebenen Fälle von Silikatmetasomatose könnten noch durch zahlreiche andere Beispiele vermehrt werden. Meine Zusammenstellung strebte nicht Vollständigkeit an, sondern soll wesentlich dazu dienen, an einer Anzahl klarer Fälle die Mannigfaltigkeit der silikatmetasomatischen Phänomene darzutun. Es kämen hierzu noch zahlreiche Fälle, die nach der hier angewandten Einteilungsweise nach dem Ausgangsmaterial als Karbonatmetasomatose zu bezeichnen wären, nämlich die mannigfaltigen Umbildungen von Kalkstein oder Dolomit in Silikatgesteine, wie wir sie besonders in pneumatolytischen Kontaktzonen antreffen, wie die Bildung von Hedenbergitskarn und Andraditskarn, die Umwandlung von Kalkstein in Wollastonitfels, von Dolomit in Diopsidfels durch Kieselsäurezufuhr. Ganz besonders häufig treffen wir in pneumatolytischen Kontaktzonen die Umwandlung der Kalksteine in Kalkeisen-silikatmassen, die mit einem alten Bergmannsausdruck als Skarne (13, S. 213) bezeichnet werden können.

Die verschiedenartigen Fälle von Silikatmetasomatose, die oben beschrieben worden sind, können teils allein vorkommen, teils mehrere gemeinsam. Bestimmte Kombinationen derselben sind besonders häufig, wie etwa die Vergesellschaftung metasomatischer Apatitbildung und Skapolithisierung, die Vergesellschaftung von Turmalin-, Topas- und Greisenbildung, die metasomatische „Syenitisierung“ von Granit und metasomatische Ägirinbildung, und es ließe sich derart auch eine wesentlich geologische Einteilung der silikatmetasomatischen Vorgänge durchführen. Man erhielte so etwa die Gruppen der Al-

kalikontaktmetasomatose, der Apatitgangmetasomatose usw.

Manche Fälle der Silikatmetasomatose könnten auch gleichzeitig in mehreren Rubriken des chemischen Schemas eingereiht werden, so die Muskovitbildung aus Nephelin nicht nur als Fall von Alkaliaustauschmetasomatose, sondern auch als Fall von Wässerungsmetasomatose.

Die Gruppierung der Einzelfälle könnte auch nach andern chemischen Gesichtspunkten erfolgen, als dies oben geschehen ist, etwa mittels einer Einteilung in Austauschmetasomatosen, Neutralisierungsmetasomatosen durch saure und durch basische Minerale, Reduktionsmetasomatose u. dgl., ohne daß hierdurch aber ein wesentlicher Vorteil erzielt würde.

Betrachtet man die große Mannigfaltigkeit der silikatmetasomatischen Prozesse, die sich in den angeführten Beispielen kundgibt, so muß man sich fragen, ob diese Mannigfaltigkeit irgendwelchen allgemeineren Gesetzen gehorcht.

Besonders wichtig erscheint es, den *physikochemischen Gesetzen der Metasomatose* nachzugehen. Es erscheint selbstverständlich, daß auch für die Umsetzung in der Gesteinswelt das *Massenwirkungsgesetz* gelten muß, und es fragt sich nur, in welcher Form es sich am zweckmäßigsten anwenden läßt. Um die folgenden Betrachtungen nicht allzu abstrakt zu gestalten, betrachten wir zunächst ein bestimmtes, konkretes Beispiel, nämlich die metasomatische Feldspatbildung auf Kosten von Kaliglimmer. Dieser Fall entspricht der Untergruppe B der Alkalimetasomatose; er ist vom Verfasser an den Injektionskontaktgesteinen des Stavangergebietes besonders eingehend studiert worden (15). Es handelt sich hierbei um die metasomatische Verfeldspatung von Tonschieferderivaten. Der Muskovit phyllitischer Gesteine reagiert mit Lösungen von Alkalisilikat unter Bildung von Alkalifeldspaten. Die zugeführten Lösungen von Alkalisilikat, eine Art von „Wasserglas“, stammen aus den Restlaugen muskovitführender Tiefengesteine<sup>1)</sup>. Über die geologisch-petrographischen Einzelheiten des metasomatischen Prozesses kann auf die ausführlichen Darlegungen des Verfassers an anderer Stelle (15) verwiesen werden.

Die Reaktionsgleichung kann folgendermaßen geschrieben werden:

Muskovit    Kali    Kieselsäure    Feldspat    Wasser  
 $\text{H}_4\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{24} + 2\text{K}_2\text{O} + 12\text{SiO}_2 = 3\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16} + 2\text{H}_2\text{O}$   
 es ist ein Fall von Alkalibindung durch den

$$K = \frac{(\text{Löslichkeit des Glimmers})^x \cdot (\text{Konzentration des Alkalisilikates})^y}{(\text{Löslichkeit des Feldspates})^z}$$

<sup>1)</sup> Die alte Unterscheidung zwischen „Granit“ und „Granitit“ erhält somit eine greifbare Bedeutung. Primärer Muskovit in einem granitischen Tiefengestein ist ein Anzeichen dafür, daß die Hydrolyse des Kalifeldspatmoleküls schon vor Beendigung der Gesteinserstarrung so bedeutend gewesen ist, daß Ausscheidung von Muskovit erfolgen konnte, wobei eine

„Tonerdeüberschuß“ des ausfällenden Minerals (siehe oben).

Wir können nun unsere Gleichung noch weiter schematisieren. Wasser ist jedenfalls im Überschuß vorhanden, da es sich um Reaktionen in wässriger Lösung handelt, und wir können die Konzentration des Wassers während der Reaktion als konstant betrachten, da die Löslichkeit der beteiligten Minerale Muskovit und Feldspat jedenfalls nicht sehr groß ist. Ebenso dürfen wir voraussetzen, daß Kieselsäure jedenfalls im Überschuß über die Reaktionsgleichung zugegen ist, da sowohl das ursprüngliche wie das neugebildete Gestein freien Quarz in bedeutender Menge (erfahrungsgemäß etwa 30%) enthalten. Wir brauchen deshalb nicht mit einer variablen Kieselsäuremenge im Verhältnis zum zugeführten Kali zu rechnen, sondern dürfen Kali und Kieselsäure als „Alkalisilikat“ zusammenfassen.

Unsere Reaktionsgleichung vereinfacht sich somit zu

$$x \text{ Glimmer} + y \text{ Alkalisilikat} = z \text{ Feldspat,}$$

wobei wir gleichzeitig vermeiden, uns an eine bestimmte stöchiometrische Glimmerformel oder überhaupt an eine stöchiometrische Reaktionsgleichung zu binden. Wasser ist, wie oben erwähnt, im Überschuß zugegen.

Wir nehmen nun an, daß die Alkalisilikatlösung auf den ursprünglich vorhandenen Glimmer trifft, zuerst so viel Glimmer löst, bis die Löslichkeit des Glimmers erreicht ist, und schon vorher oder gleichzeitig Alkalifeldspat ausscheidet. Da nun die Löslichkeit der betreffenden Minerale jedenfalls nicht so groß ist, daß gleichzeitig *aller* Glimmer oder *aller* Feldspat in Lösung ist, so muß sich zunächst ein stationärer Zustand in Gegenwart beider festen Minerale einstellen. Damit Feldspat hierbei überhaupt zur Ausscheidung gelangen kann, muß die Konzentration des Feldspats in der Lösung gleich der Löslichkeit des Feldspats werden, ebenso muß die Konzentration des Glimmers, solange noch Glimmer als ursprünglicher Bodenkörper vorhanden ist, gleich der Löslichkeit des Glimmers werden. Die Konzentrationen des Glimmers und des Alkalifeldspates im Lösungsmittel sind also während des metasomatischen Umsetzungsvorganges gleich den Löslichkeiten der betreffenden Minerale im selben Lösungsmittel. Für den stationären Zustand während der Metasomatose soll demnach folgende Gleichung als Ausdruck des Massenwirkungsgesetzes gültig sein:

worin  $K$  die Gleichgewichtskonstante der betreffenden Reaktion bei der herrschenden Tempera-

Restlauge mit freiem Alkalisilikat hinterblieb. Dem entsprechend findet man metasomatische Verfeldspatung von Tonschieferderivaten vorwiegend um muskovitreiche Tiefengesteine.



tur und dem herrschenden Drucke ist<sup>1)</sup>. Die Gleichung kann auch in folgender Form geschrieben werden:

(Konzentration des Alkalisilikates) =

$$\sqrt{\frac{(\text{Löslichkeit des Feldspates})^2 \cdot K}{(\text{Löslichkeit des Glimmers})^2}}$$

Dies bedeutet folgendes: Es ist bei gegebenen Temperatur-Druck-Größen eine bestimmte Minimumskonzentration des Alkalisilikates notwendig, damit Feldspat auf Kosten von Glimmer ausgeschieden wird. Ist diese Minimumkonzentration an Alkalisilikat nicht zugegen, so kann die zirkulierende Lösung nur Glimmer auslaugen, dagegen nicht Feldspat ausscheiden.

Dies sehr wichtige Resultat kann allgemeiner so ausgesprochen werden, gültig für alle Arten der Metasomatose: „Die Lösung, welche die Metasomatose bewirkt hat, muß mindestens eine bestimmte Minimumkonzentration oder Grenzkonzentration der zugeführten Stoffe enthalten haben, damit die betreffende Metasomatose überhaupt stattfinden konnte.“

Analoges gilt für Metasomatose unter Mitwirkung gasförmiger Zufuhr; hier ist ein bestimmter Minimalpartialdruck des zugeführten Stoffes notwendige Vorbedingung für das Zustandekommen der Metasomatose.

Daß die metasomatischen Vorgänge dem Massenwirkungsgesetze gehorchen müssen, ist eine Selbstverständlichkeit, die auch schon vielerseits betont worden ist (z. B. in Niggli's Lehrbuch der Mineralogie). Der oben aufgestellte Satz von der Minimalkonzentration (respektive dem Minimaldampfdruck) dürfte geeignet sein, die Anwendung des Massenwirkungsgesetzes zur Deutung der metasomatischen Vorgänge zu fördern. Dieser Satz wurde zuerst im Frühjahr 1921 von mir veröffentlicht (16).

Nun erst wird es verständlich, daß metasomatische Prozesse zwar häufig, aber doch nicht allverbreitet sind, dies folgt aus dem Satze über die Minimumkonzentration. Trotzdem wohl alles in der Erde zirkulierende Wasser Spuren von Alkalisilikat enthält, wird Kaliglimmer durchaus nicht allorts in Feldspat umgewandelt, denn es sind bestimmte geologische Voraussetzungen nötig, damit die zirkulierende Lösung so viel Alkalisilikat enthält, daß die Grenzkonzentration dieser Reaktion erreicht wird.

Diese Anwendungsweise des Massenwirkungsgesetzes gibt uns auch einen Anhaltspunkt, etwas über die Art der Lösungen zu ermitteln, welche die Metasomatose bewirken, also der Lösungen, welche bei der Bildung metamorpher Gesteine zirkulieren. Die Grenzkonzentration der Lösungen ist natürlich von Reaktion zu Reaktion ver-

schieden und sicherlich oft auch stark abhängig von Temperatur und Druck. Um beispielsweise Kalkstein bei höherer Temperatur mit Schwermetallchloriden umzusetzen, ist gewiß nur eine ganz geringe Konzentration der letzteren notwendig, da Schwermetalloxyde in den meisten Fällen sehr viel schwerer löslich sind als kohlensaurer Kalk.

Für einzelne Fälle der Silikatmetasomatose können wir bereits zu gewissen Aussagen über die Konzentrationsverhältnisse gelangen. So können wir aus dem petrographischen Erfahrungsmaterial schließen, daß eine höhere Alkalikonzentration notwendig ist, um Eisenoxydminerale in Ägirin umzuwandeln, als um Tonerdeminerale in Feldspat zu verwandeln. Denn die Ägirinbildung kann erfahrungsgemäß erst dann stattfinden, wenn alle Tonerde des Gesteins in Form von Alkalifeldspat gebracht ist.

Man kann derart bestimmte Reihenfolgen aufstellen für das chemische Verhalten gegebener Minerale oder Mineralassoziationen gegenüber bestimmten Lösungen. Eine analoge Betrachtungsweise kann mit Vorteil auch auf die Vorgänge der Mineralbildung bei nichtmetasomatischer Gesteinsmetamorphose angewandt werden.

Auch auf experimentellem Wege kann man Daten zur Beurteilung metasomatischer Vorgänge erhalten. So habe ich in meinem Institute seit 1918 eine Reihe von Bestimmungen der Gleichgewichte zwischen den Sulfiden des Eisens und den gewöhnlichen magmatischen Gasen im Intervall 600° C.—900° C. ausführen lassen, die ich demnächst zu veröffentlichen gedenke. Hierdurch erhält man zahlenmäßige Daten zur Beurteilung einer Anzahl metasomatischer Umsetzungen, an denen Eisensulfide teilnehmen.

Von großer Bedeutung ist die Frage, ob den metasomatischen Prozessen in Gesteinen eine bestimmte Tendenz zukommt, ob also bestimmte Endzustände bevorzugt werden. Im allgemeinen scheint es, daß eine Tendenz zum Ausgleich „extrem“ zusammengesetzter Gesteinstypen vorhanden ist, speziell scheinen Gesteine mit „Tonerdeüberschuß“ gern einer „Sättigung“ der Tonerde zuzustreben. In diesem Sinne befördert die Metasomatose eine Homogenisierung der Gesteinsmassen. Daß wir in alten kristallinen Schiefern so oft relativ „indifferente“ Gneise antreffen, ohne die starken Variationen unmetamorpher Gesteine, ist möglicherweise durch solchen metasomatischen Ausgleich bedingt. Aber diese Tendenz herrscht nicht ganz allgemein, mehrere metasomatische Prozesse, besonders die diaphthoritischen, führen selbst zur Entstehung „ungesättigter“ Gesteine, so die Sericitbildung aus Feldspaten.

Was ist nun die Treibkraft der metasomatischen Prozesse? Es sind dies offenbar alle diejenigen geologischen Umstände, die Gesteine verschiedenen „chemischen Charakters“ nebenein-

<sup>1)</sup> Wir sehen hierbei ab von der elektrolytischen und hydrolytischen Dissoziation, da diese Faktoren zwar Einfluß in quantitativer Beziehung besitzen, aber für die hier durchzuführenden rein qualitativen Betrachtungen ohne Belang sind.

ander bringen, oder mittels Temperatur- und Druckvariationen Potentiale zwischen den einzelnen Teilen der Erdkruste bedingen. Deshalb finden wir metasomatische Prozesse in besonders reicher Entwicklung teils in *Kontaktzonen*, teils in *kristallinen Schieferen*, teils um *Erzlagertstätten*, teils in der *Verwitterungszone*. Und noch in einer anderen Beziehung haben geologische Vorgänge Bedeutung für das Zustandekommen metasomatischer Prozesse. Verwerfungen können den zirkulierenden Lösungen bequeme Wege öffnen, mylonitische Gesteinszertrümmerungen können die schnelle Durchtränkung großer Gesteinsmassen ermöglichen. Und so zeigt sich hier, wie immer, daß die Petrographie eine geologische Wissenschaft ist.

Das Verständnis der metasomatischen Vorgänge ist nicht nur von Interesse für den Petrographen und Lagerstättenforscher. Die Metasomatose ist auch von größter geologischer Bedeutung als ein wesentlicher Faktor im *Stoffwechsel der Erde*. Wir können die geologischen Vorgänge in ihrer Gesamtheit als einen großartigen Stoffwechsel auffassen, als eine ständige Wanderung und Umsetzung von Material. Zwei Hauptgruppen von Vorgängen können in diesem Stoffwechsel unterschieden werden: Ein *äußerer* Stoffwechsel, der sich hauptsächlich in Verwitterung (teilweise metasomatisch), selektiver Erosion und Sedimentation kundgibt. Dann ein *innerer* Stoffwechsel. Dessen Mechanismus besteht in Ortsänderung fester Gesteinsmassen und flüssiger Magmen sowie in gravitativen Stoffsonderungen und schließlich in metasomatischen Vorgängen. So ist auch die Silikatmetasomatose kein isoliertes Phänomen von nur lokaler Bedeutung, sie ist vielmehr ein wichtiges Glied im Stoffwechsel der Erde.

#### Literatur über Metasomatose in Silikatgesteinen.

Das folgende Literaturverzeichnis macht keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es soll nur auf die ausführlichere Beschreibung einiger im Texte erwähnten Beispiele hinweisen. Ein wirklich vollständiges Literaturverzeichnis der Silikatmetasomatose würde einen sehr großen Teil der gesamten petrographischen Literatur umfassen. Weitere Literaturhinweise findet man in den unten zitierten Handbüchern von *Beyschlag-Krusch-Vogt*, *Lindgren* und *Rosenbusch*.

1. *F. Becke*, Denkschriften d. k. Akad. d. Wissensch., Wien, Math.-Naturw. Kl. I, Bd. 75, I. Halbbd., 1913.
2. *F. Becke*, Typen der Metamorphose, Geol. Fören. Föhr. Stockh. Bd. 42, 1920, S. 183.
3. *Beyschlag-Krusch-Vogt*, Die Lagerstätten der nutzbaren Mineralien und Erze.
4. *R. Brauns*, Über Laacher Trachyt und Sanidinit, Sitzungsber. d. Niederrhein. Ges. f. Nat.- u. Heilkunde, Bonn, 1911.
5. *R. Brauns*, Die kristallinen Schiefer des Laacher Seegebietes und ihre Umbildung zu Sanidinit, Stuttgart 1911.
6. *R. Brauns*, Die chemische Zusammensetzung granatführender krist. Schiefer usw. aus dem Laacher Seegebiete, N. Jahrb. f. Min., Beilage Bd. XXXIV, 1912, S. 85.
7. *W. C. Brögger*, Die Eruptivgest. d. Kristiania-gebietes IV, Das Fengebiet in Telemark, Vid.

Selsk. Skr., Math.-Naturw. Kl. 1920, Nr. 9, Kristiania 1921.

8. *P. Eskola*, On the Petrology of the Orijärvi-region in Southwestern Finland, Bull. Comm. Géol. Finl. Nr. 40, 1914.
9. *P. Eskola*, Om sambandet mellan kemisk og mineralogisk sammensætning hos Orijärvitraktens metamorfe bergarter, Bull. Comm. Géol. Finl. Nr. 44, 1915.
10. *P. Eskola*, Om metasomatiska Omvandlingar i Silikatbergarter, Norsk geologisk Tidsskrift Bd. VI, 1921, S. 89.
11. *P. Geijer*, Geology of the Kiruna-District 2. Stockholm 1910.
12. *P. Geijer*, Falutraktens Berggrund och Malmfyndigheter, Sveriges Geol. Undersökn., Serie C. Nr. 275, 1917.
13. *V. M. Goldschmidt*, Die Kontaktmetamorphose im Kristianiagebiete, Vid. Selsk. Skr. Mat.-Naturv. Kl. 1911, Nr. 1, Kristiania 1911.
14. *V. M. Goldschmidt*, Über einen Fall von Natronzufuhr bei Kontaktmetamorphose, N. Jahrb. f. Min., Beilage Bd. XXXIX, 1914, S. 193.
15. *V. M. Goldschmidt*, Geol.-petrogr. Studien im Hochgebirge d. südl. Norwegens V, Die Injektionsmetamorphose im Stavangengebiete, Vid. Selsk. Skr. Mat.-Naturv. Kl. 1920, Nr. 10, Kristiania 1921.
16. *V. M. Goldschmidt*, Vortrag in Geologiska Föreningen, Stockholm, Pfingsten 1921, Referat in Geol. Fören. i Stockh. Föhr., Bd. 43, 1921, S. 463.
17. *W. Lindgren*, Mineral Deposits, London u. New York 1919.
18. *H. Rosenbusch*, Physiographie der massigen Gesteine Bd. II, 1, 1907.
19. *N. Sundius*, Beiträge zur Geologie d. südlichen Teils d. Kirunagebietes, Upsala 1915.
20. *N. Sundius*, Zur Frage der Albitisierung im Kirunagebiet, Geol. Fören. i Stockh. Föhr. Bd. 38, 1916, S. 446.
21. *N. Sundius*, Atvidabergstraktens Geologi och Malmfyndigheter, Sveriges Geol. Undersökn., Serie C, Nr. 306, 1921.
22. *Th. Vogt*, Vortrag in Geologiska Föreningen, Stockholm, Pfingsten 1921, Referat in Geol. Fören. i Stockh. Föhr. Bd. 43, 1921, S. 480.

## Der blaue Himmelsraum ist in Wirklichkeit blendend goldig bei Tag, silbern bei Nacht.

Von Wilhelm Roux, Halle a. S.

Diese Aussage wird befremden, denn wir sehen den klaren blauen Himmel als nur wenig hell. Trotzdem ist der ganze Himmelsraum allenthalben (von jeweiligen Schattenstellen abgesehen) mit viele Male intensiverem Lichte „erfüllt“ als es uns scheint. Dieses Licht ist bei Tag so hell, wie der Blick in die Sonne, wie in den Mond oder in jeden einzelnen der sichtbaren Sterne bei Nacht. Ein unsichtbares Lichtmeer von großer Intensität erfüllt also den anscheinend nur wenig hellen, nachts fast dunklen Himmelsraum.

Es ist daher zu fragen: Woraus erkennen wir die Anwesenheit dieses unsichtbaren Lichtmeeres, und warum ist dasselbe nicht sichtbar, obschon wir die viele Mal geringere Lichtintensität des blauen Himmels sehen?



Es müßte doch gerade umgekehrt sein; vor der großen Intensität dürften wir — wenn die übrigen Verhältnisse die gleichen wären — die geringe nicht sehen.

Die erste Frage ist durch einiges Nachdenken über das bei jedem Spaziergang und bei klarem Himmel Wahrnehmbare bzw. Wahrgenommene zu beantworten. Wenn wir auf einem Berge oder auf einer unbeschatteten Ebene schreiten, so sehen wir bei jedem Schritte, also von jeder Stelle aus die Sonne bzw. den Mond und jeden der sichtbaren Sterne, sofern wir den Blick auf einen davon richten. Denn es sind, wie altbekannt ist, deren direkte Strahlen allenthalben vorhanden.

Es fällt uns besonders schwer, uns vorzustellen, daß schon ein einzelner heller Stern, den wir von jedem Orte nur als leuchtenden Punkt sehen, in Wirklichkeit den Himmelsraum in *allen* Richtungen zugleich in gleichem Abstand ebenso hell erleuchtet.

Die Tatsache der allseitigen Durchdringung des Himmelsraumes mit Licht ist seit Urzeiten bekannt. Wir haben uns also nur „bewußt zu werden“, daß sie ein überaus intensives, aber „nicht als Ganzes“ „sichtbares Lichtmeer“ darstellt und uns klar zu machen, warum wir dieses Lichtmeer nicht als solches sehen.

Das hat erstens seinen Grund darin, daß wir nur dasjenige Licht sehen, welches in unser Auge fällt, und zweitens, daß in unser Auge in jedem Moment und an jedem Ort, also an jedem einzelnen „Zeitort“ immer nur derjenige kleine Teil dieser nach allen Seiten vom Leuchtkörper ausgehenden homozentrischen Strahlen gelangt, welchen die Pupille durchläßt, sofern das Auge überhaupt auf den Leuchtkörper gerichtet ist.

Die anderen direkten Strahlen dieses Leuchtkörpers gehen an dem Auge vorbei. Sie sind daher für dasselbe nicht sichtbar, also so gut wie nicht vorhanden. So weit aber diese Strahlen als „zerstreutes Licht“ der schimmernden zitternden Luft Homers oder des Nebelglanzes der Wolken und dergleichen sowie von der Umgrenzung des Raumes her reflektiert dem Auge zukommen, sind sie für uns sichtbar, und zwar dies von jeder Stelle aus in vielen Blickrichtungen zugleich, nicht bloß wie das direkte Licht nur in je einer Richtung.

Wenn wir aber alle die direkten Lichtstrahlen eines himmlischen Leuchtkörpers, die den Himmelsraum über uns durchsetzen, auf einmal sähen, so würde der Himmel statt blau und nur wenig hell zu sein, am Tage wie mit leuchtendem Golde, bei Nacht wie mit glänzendem Silber austapeziert erscheinen, richtiger, es würde der ganze Raum über uns bis auf die Erdoberfläche herab mit so großem Glanze erfüllt sein, daß wir vor ihm von dem diffusen Lichte, welches allein uns die Gegend und die Gegenstände zeigt, nichts sehen könnten. (Die Teleologen werden daher wieder sagen: Wie weise ist das eingerichtet! Ebenso weise wie die Erfindung der Reibung, ohne

welche die Lebewesen nicht möglich wären, wie die Ausdehnung des Wassers vor und bei dem Gefrieren desselben, ohne welche die Flüsse und Meere auf dem größten Teile der Erde im Winter bis auf den Grund ausfrieren und im Sommer nicht wieder ganz auftauen würden und wie viele andere mechanische Naturvorgänge.)

Das Entsprechende wie für den Himmelsraum gilt für die von Laternen erleuchtete Straße und für jedes von einer Lampe erleuchtete Zimmer. Auch sie sind, von Schattenstellen abgesehen, allenthalben mit ungesehenem so intensivem Lichte erfüllt, wie es uns der Blick in die Leuchtkörper an jeder Stelle des Raumes zeigt.

Auch ein sehr dunkel erscheinender weiter Kellerraum, den wir mit einem brennenden Lichte betreten, und ein gleichfalls dunkel erscheinender, von vielen Kerzen beleuchteter, aber mit schwarzem Tuch ausgeschlagener Trauerraum ist ganz mit strahlendem Lichte erfüllt, also intensiv erleuchtet. Diese Räume erscheinen uns gleichwohl dunkel, weil wir an jeder Stelle nur die wenigen Strahlen sehen, welche von der Leuchtquelle aus direkt in unser Auge fallen, da keine oder fast keine von den Wandungen reflektierten zerstreuten Strahlen vorhanden sind, die gewöhnlich einen Raum nach allen Richtungen durchsetzen und ihn dadurch „erhellen“.

Hell ist ein biologischer subjektiver Begriff, der aus dem Produkt von Lichtintensität und einem subjektiven Faktor des das Licht aufnehmenden Lebewesens besteht. Licht, welches nicht gesehen wird, ist also streng genommen nicht hell, so groß seine Energie auch pro Quadratzentimeter sein mag.

Wir nennen Licht hell, welches unsere Netzhaut und die an sie angeschlossene Hirnrinde mit einer gewissen Intensität erregt. Einen Raum dagegen bezeichnen wir als hell, wenn sein Licht unser Auge gleichzeitig von vielen Seiten her in solchem Maße erregt, daß wir die Gegenstände des Raumes ohne Anstrengung deutlich sehen können. Dieses geschieht aber nur durch das von unendlich vielen Punkten aus diffus reflektierte Licht, nicht durch das homozentrische Licht eines oder auch vieler Leuchtkörper (z. B. der Sterne).

Bei dieser Definition von „hell“ sind der klare Luftraum über uns und der weite Himmelsraum an sich nicht als hell zu bezeichnen, obgleich sie von Licht, welches uns evtl. blenden kann, erfüllt sind. Aber allenthalben da, wo das daselbst vorhandene Licht in unserem Auge „zur Wirkung“ gelangt, ist der Raum also „in Wirklichkeit“ hell.

In diesem Sinne sagt die Überschrift: der Himmelsraum ist in Wirklichkeit blendend goldig hell bei Tag, silbern bei Nacht.

Das für gewöhnlich von der Umgrenzung eines Tales, eines Zimmers diffus reflektierte Licht bildet gleichsam einen unendlich fein verwirrten Lichtstrahlenfilz. In diesem würden wir keinen Gegenstand erkennen können, wenn dieser

Filz nicht von der sphärisch gekrümmten Oberfläche der Hornhaut entwirrt und zu einem „Bilde“ dieser Umgebung geordnet würde. Dies geschieht, indem die von je einem körperlichen Punkte ausgehenden, ins Auge fallenden Strahlen durch diese Oberfläche wieder zu einem Punkte und damit zu einem „Bilde“ des Punktes vereinigt werden; und aus lauter geordneten Punkten besteht jedes Bild.

Wenn die Helligkeit aller den Raum durchsetzenden homozentrischen Strahlen der Leuchtquelle zugleich „physiologisch realisiert“ würde, also auf einmal sichtbar wäre, so dürfte ein wirklich „realistischer“ Maler eine Landschaft nur als eine gleichmäßig helle Fläche ohne alles Detail darstellen, denn das Reflexlicht, welches ja allein das Bild der Landschaft bildet, würde in der großen Intensität des direkten Lichtes nicht wahrnehmbar sein.

Die Wahrnehmung, daß der klare Himmel blau und nur schwach erleuchtet sei, ist eine so zwingende, daß sie die Vorstellung, derselbe Raum sei zugleich noch von anderem Lichte, und zwar von viel größerer Intensität, erfüllt, kaum aufkommen läßt, ebenso wie die erschlossene Erkenntnis, daß die Erde sich um die Sonne bewegt, den täglichen Schein des Gegenteils nicht zu zerstören vermag. Dies ist der Fall, obgleich das Bewußtsein, daß dieses für uns nicht auf einmal sichtbare homozentrische Licht, dessen Vorhandensein schon in frühen Urzeiten erschlossen war, sofern es zugleich sichtbar wäre, ein helles Lichtmeer darstellen würde, wie erwähnt, durch einen nur geringen Denkkakt, durch eine Integration weniger Wahrnehmungen zu gewinnen ist.

Ich selber erinnere mich noch, daß ich bereits erwachsen war, als ich in einer klaren Winternacht während des Überschreitens eines großen Platzes und bei längerem Betrachten des Vollmondes plötzlich erkannte: „Der ganze dunkle Raum über dem Platze ist ja in Wirklichkeit leuchtend silberhell.“

Die Erwähnung dieser Sachlage in den Vorlesungen über das Auge wirkte auf die Hörer stets sichtbar überraschend; wohl ein Beweis, daß diese Erkenntnis ihnen noch nicht aufgegangen war. Deshalb sei sie hier einem größeren Kreise unterbreitet. Vielleicht ist sie auch manchem der Leser neu, und vielleicht weiß einer von ihnen und gibt kund, wo und wann diese Erkenntnis sich in der Literatur erwähnt vorfindet.

### Über die Regulation des Wasserhaushaltes im Tierkörper und die Durstempfindung.

Von C. Oehme, Bonn.

Alle Lebensvorgänge sind von einer Bildung von Wasser im Stoffwechsel begleitet und spielen sich in wässrigem Milieu ab. Kann auch im

Ruhezustand der lebendigen Substanz, bei nicht nachweisbarem Stoffumsatz einer *vita minima*, namentlich in Dauerformen niederer Tiere und Pflanzen, der Wassergehalt hochgradig herabgesetzt sein, genügt auch unter manchen Umständen wie im Winterschlaf vorübergehend, oder bei Anpassung an besondere Lebensbedingungen, wie z. B. unter den Insekten (z. B. Motten) für die ganze Lebensdauer das Oxydationswasser des Stoffwechsels, um den Wasserbedarf zu decken, so erfordert anderseits die Lebensnotwendigkeit dieses Stoffes bei allen höheren Entwicklungsstufen seine haushälterische Bewirtschaftung, sobald in der Tierreihe der Übergang vom Wasser zum Landleben vollzogen ist. In besonderem Maße gilt dies vom Warmblüter, dessen Konstanz der Körpertemperatur zum Teil durch Wasserverdampfung aus Haut und Lungen aufrechterhalten wird. In ähnlicher Weise wie bei vielen Landpflanzen sind also auch im Tierreiche Vorrichtungen, die den Wasserhaushalt regulieren, zu erwarten, wovon zunächst hier nur die Regelung der *Einfuhr* betrachtet werden soll, die sich scheinbar willkürlich vollzieht, ausgelöst durch das Motiv des Durstes.

Dieser Empfindungskomplex, den die Physiologie unter die Allgemeingefühle einreicht, darf aus Analogieschluß auch bei den höheren Tieren als in mindestens höchst ähnlicher Weise vorhanden angenommen werden. Aber keineswegs ist die geregelte Wasserzufuhr allein an die bewußte Durstempfindung geknüpft, für deren Zustandekommen eine gewisse Entfaltung des Großhirns als erforderlich anzusehen ist. Schon der Säugling mit noch völlig unentwickelten Rindenfeldern gibt Zeichen des Flüssigkeits- bzw. Nahrungsbedürfnisses, und Beobachtungen an Hunden und Tauben, denen das Großhirn entfernt worden ist, lehren, daß nach Verlust des Vermögens, Sinneseindrücke und Empfindungen irgendwie zu verwerten, Zufuhr wie Abgabe noch automatisch in zweckmäßiger Weise nach den Bedürfnissen des Körpers vor sich gehen. Diese Tatsachen sind nur zu verstehen, wenn auf das Haushaltsgleichgewicht *auch tiefere Hirnteile* von Einfluß sind, die, in der Tierreihe wesentlich älter, auch im Leben des Menschen früher in Tätigkeit treten als psychische Prozesse wie bewußte Hunger- und Durstempfindung. Letztere sind vielmehr jener ursprünglichen zentralen Regulation gegenüber etwas Neues, was ihr übergeordnet und mit anderen seelischen Vorgängen eng verknüpft ist.

Jeder weiß, wie sehr der Durst durch Vorstellungen und seelische Disposition gesteigert oder gemildert werden kann. Bei Geisteskranken ist nicht selten aus rein psychischen Ursachen Durstempfindung und Wasseraufnahme auf ein krankhaftes Maß eingestellt; gewohnheitsmäßiges Vieltrinken hat neben der zuerst häufig vorhandenen körperlichen Ursache meist auch eine psychogene Wurzel. Aber daneben haben gerade für die



Existenz jener *tiefere*, den Wasserhaushalt regelnden Zentren klinische und pathologisch-anatomische Erkenntnisse in neuerer Zeit weitere Beweise erbracht. Hochgradig gesteigerte Durstempfindung und oft enormer Wasserwechsel bei sehr großer Harnmenge findet sich bei entzündlichen Prozessen, Geschwulstbildungen oder Verletzungen im Zwischenhirn, in der hypothalamischen Gegend, nahe der Hypophyse oder von ihr selbst ausgehend, im Höhlengrau des dritten Ventrikels<sup>1)</sup>, also in Stammhirnteilen, in denen nach neueren physiologischen Forschungen auch andere vegetative Funktionen zentral vertreten sind. Von hier aus nämlich lassen sich auch Schweißdrüsen, Pupillen- und Blasenmuskulatur reizen, Läsion des Tuber cinereum<sup>2)</sup> vermehrt die Harnproduktion unter erhöhter Salzausscheidung und kann Glykosurie erzeugen; an die Unversehrtheit dieser Gebiete ist die Temperaturregulation gebunden, und vielleicht beeinflussen sie auch abgesehen von Hormonwirkung, etwa der Hypophyse, die Größe des gesamten Kalorienumsatzes. Für die noch klärungsbedürftigen anatomisch-histologischen Grundlagen dieser „Zentren“ vieler Teile des vegetativen (sympathischen) Systems stellt allerdings der Befund von Ganglienzellen mit sympathischem Bautypus in der Wand des dritten Ventrikels, die mit den Ganglienzellen des dorsalen (sensiblen) Vaguskerne in der Medulla oblongata große Ähnlichkeit haben, erst einen Anfang dar.

Man hat gemeint, in diesen Fällen von Erkrankungen an der Hirnbasis, bei dem sog. echten Diabetes insipidus, sei das Primäre eine infolge Konzentrationsschwäche der Niere<sup>3)</sup> erhöhte Harnflut mit nur reaktiver Durststeigerung, im Gegensatz zur primären, psychogenen Polydipsie<sup>4)</sup>. (Die wohl immer klar durchführbare symptomatologische Trennung beider Gruppen sowie die noch umstrittene Anwendung des Begriffs der renalen Konzentrationsschwäche in diesem Zusammenhang kann hier unerörtert bleiben.) Dafür, daß auch beim D.-insipidus-Kranken der enorme Durst nicht lediglich Folge einer Ausscheidungsstörung, sondern dieser, mindestens in einem Teil der Fälle, koordiniert ist, sprechen mehrere Argumente. Die Reaktionen im Wasser- und Salzaus-

tausch zwischen Blut und Gewebe, welche bei Flüssigkeitsentzug im Durstversuch, nach Salzgabe, nach Zufuhr mancher Medikamente (Theocin, Hypophysenextrakte) als charakteristisch für den Wasserruhrkranken angegeben sind, finden sich, wenn auch nicht regelmäßig und zum Teil quantitativ weniger ausgeprägt, ebenfalls bei manchen Vieltrinkern aus psychischer oder anderer Ursache; auch kann, wie bei der Zwangspolyurie<sup>5)</sup>, die erhöhte Harnabscheidung nach Flüssigkeitsentzug noch anhalten unter Verminderung des Körpergewichts und Zunahme der Blutkonzentration. Und anderseits beherrscht die Schwere der Durstempfindung, sobald das intensive Trinken ausgesetzt wird, beim D. insipidus viel mehr das Krankheitsbild als nach etwa gleich hohen Wasserabgaben aus dem Körperbestand bei anderen Krankheitszuständen. Können wir psychische Veränderungen dafür hier nicht verantwortlich machen, so deuten diese Störungen bei Erkrankungen in und am Zwischenhirn also darauf hin, daß von ihm aus nicht nur die Tätigkeit der wasserabscheidenden Organe, sondern in gewissem Umfang auch die Einnahme automatisch geregelt wird, vegetative, im Unterbewußtsein sich abspielende Vorgänge, von denen die psychophysischen der Durstempfindung abhängen.

Wie in diesen Stammhirnteilen *verschiedene Zentren untereinander verknüpft* sind, wird durch weitere Beobachtungen an derartigen Kranken beleuchtet. Bei stets erheblich verminderter extrarenaler Wasserabgabe kann die Fähigkeit, zu schwitzen, doch in recht verschiedenem Grade, bis zum völligen Verlust, beeinträchtigt sein. Aus irgendeiner Ursache eintretendes Fieber oder künstliche starke Änderung der Wärmeregulation, etwa durch Dampfbäder, vermindert nicht nur die Harnmenge unter Konzentrationszunahme bedeutend, sondern kann auch den Durst vorübergehend beseitigen, also gerade umgekehrt auf ihn einwirken, als wegen der gesteigerten Wasserabgabe mit dem Schweiß zu erwarten wäre. Die beherrschende Stellung der Temperaturregulation zum ganzen Wasserhaushalt wurde ja schon eingangs erwähnt, und so werden diese Beobachtungen am wahrscheinlichsten als Erregbarkeitsänderungen verbundener Zentralapparate gedeutet, deren Reaktionen auch sonst häufig gekoppelt erscheinen.

Über den in diesem Zusammenhang oft gebrauchten Begriff des nervösen Zentrums eine kurze Bemerkung. Keineswegs ist für jede regulierende Funktion eine besondere Nervenzellgruppe bekannt, noch soll sie hier angenommen werden. Selbst für das länger und besser erforschte „Atemzentrum“ ist die Stellung eines übergeordneten Zentrums im verlängerten Mark zu den Teilzentren im Rückenmark noch nicht einhellig entschieden. Die hier besprochenen Stoffwechselregulationen erscheinen aber vollkommen gewährleistet in der Verknüpfung und Verknüpfungsweise der in jenen Hirnteilen gelege-

<sup>1)</sup> Der dem Zwischenhirn angehörige Teil der Hirnhöhlen.

<sup>2)</sup> Eine Platte aus grauer Hirnsubstanz oberhalb der trichterförmigen Einsenkung des dritten Ventrikels zum Hypophysenstil.

<sup>3)</sup> Bei Nierenkranken (Nieren„entzündung“ oder -schrumpfung) leidet oft die Fähigkeit der normalen Niere, die gelösten Stoffe in wechselnden Wassermengen abzusondern, d. h. zu konzentrieren oder zu verdünnen gegenüber der Konzentration, in der diese Substanzen ihr vom Blute zugeführt werden. Zur Bewältigung der auszuscheidenden Stoffwechselschlacken und Salze muß dann oft eine ungewöhnlich große Wassermenge zu Hilfe genommen werden, es tritt Zwangspolyurie ein.

<sup>4)</sup> Primäre Veränderung des Durstempfindungsvermögens im Rahmen anderer krankhafter psychischer Veränderungen.

nen Ganglienzellen, von deren Erregungszustand der Zustand und die Funktionsweise der einzelnen Organe (z. B. Niere, Schweißdrüsen usw.)

löster vasomotorischer Reaktionen, denen zweifelsohne eine wichtige Rolle dabei zukommt, können wir heute nur erst recht mangelhaft von rein

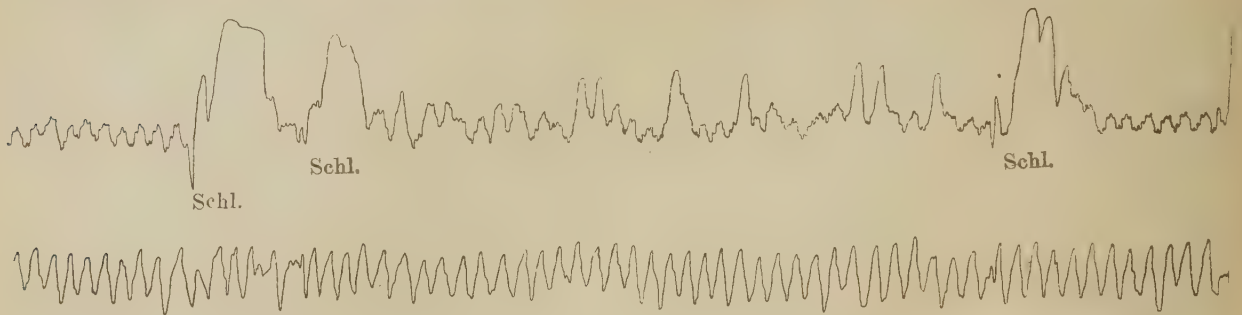


Fig. 1. Kein Durst. Untere Kurve Atmung, obere Oesophagus (26 cm). Schl. = willkürliche Schluckbewegungen. Außer diesen folgt im allgemeinen die Oesoph.-Kurve der Atmung; die kleinsten Wellen, superponiert, rühren vom Herzen her. Eine Reihe größerer, nicht in der Atmung begründeter Erhebungen stellt Spontankontraktionen der Speiseröhre dar.

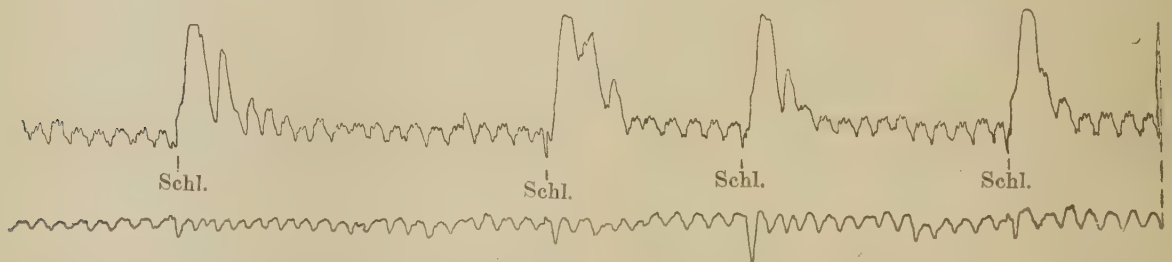


Fig. 2. Dieselbe Person wie bei 1. Starker Durst, 46 Stunden ohne Flüssigkeitszufuhr, 1,5 kg Gewichtsabnahme. Die Oesophaguskurve folgt hier außer willkürlichen Schluckbewegungen noch strenger der Atmung als bei 1. Spontankontraktionen fehlen in diesem Kurvenstück ganz.

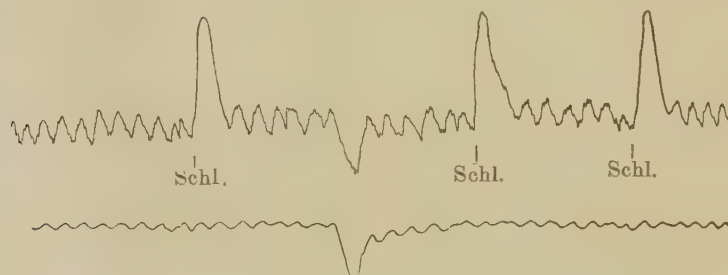


Fig. 3. Durstkurven von anderer Versuchsperson. Übereinstimmender Gang von Oesophagus- und Atmungskurve.

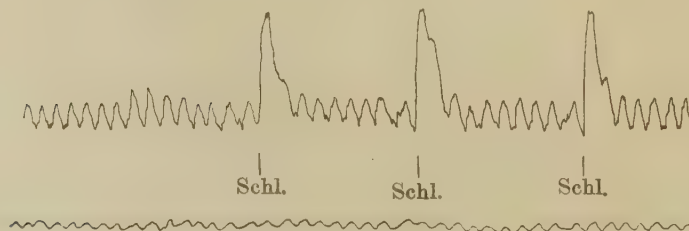


Fig. 4. Dieselbe Person wie bei 3. 10 Minuten später, nachdem erster Durst durch 1 Liter Wasser gelöscht war. Also kein Unterschied im Verhalten des Oesophagus im Durst und nachher.

und Organsysteme abhängt, und gerade in der Art dieses Zusammenspiels ist der Begriff des Zentrums gegeben. Den Anteil zentral ausge-

sekretorischen und andersgearteten, den Zellstoffwechsel beeinflussenden nervösen Impulsen abgrenzen.



Es fragt sich nun, wodurch und unter welchen Bedingungen Wasseraufnahme veranlaßt und Durstgefühl hervorgerufen wird. „Durst“ heißt nicht allein die bei Wassermangel sich einstellende Empfindung von Trockenheit des Mundes und Rachens, zu der sich bei schwereren Graden ein ziehendes, spannendes Gefühl im Schlunde hinzugesellt, sondern zugleich auch das nur erleb-, nicht beschreibbare Bewußtsein eines bestimmten *allgemeinen Körperzustandes*, der, unlustbetont und als Schwäche empfunden, neben den lokalen Empfindungen eigentlich bei jedem Durst, um so mehr aber, je stärker er ist, bemerkbar wird. Denn Trockenheit im Munde kommt auch ohne Durst vor, z. B. nach Versiegen der Speichelsekretion durch Atropin. Nicht im Mund und Rachen, auch bei langem Verweilen, sondern erst später nach Resorption erzeugt stark hypertonische Salzlösung Durst; örtliche Anästhesierung oder intensive lokale Befeuchtung löscht ihn nicht, ebenso wenig wie der Speichelfluß den quälenden Durst des Wutkranken. Bei mehrtägigen Durstversuchen schwankt, wie aus fremden und eigenen Untersuchungen erhellt, die Stärke der Empfindung im Laufe des Tages, abgesehen von Vorstellungen und der Gewohnheit der Mahlzeiten, so zwar, daß sie am Morgen meistens am gelindesten ist.

Natürlich bestimmt die Durstentstehung nicht der absolute Wasserbestand des Körpers, sondern das Verhältnis des Wassers zur Menge gelöster Substanz. Kranke mit hochgradigen Wasseransammlungen in allen Geweben und eingedicktem Blut infolge darniederliegenden Kreislaufs, Nierenleidende mit verdünntem hydrämischen Blut, Verwundete nach starkem Blutverlust, der zu Einstromen relativ salzreichen Gewebswassers in die Gefäßbahn geführt hat, leiden oft an schwerem Durst. Das Gemeinsame in allen diesen Fällen ist eine *Zunahme der Elektrolyte*, nicht der Kolloide, der Blutflüssigkeit insbesondere der Chloride. Nach nicht zu langsamer intravenöser Injektion stark hypertonischer NaCl-Lösung (20 %, 10–20 ccm) kann ein rasch vorübergehendes Durstgefühl sich einstellen, ehe der sogleich einsetzende Ausgleich mit den Geweben vollzogen ist, und nach unseren Versuchen steigt während mehrtägiger, konstanter, flüssigkeitsfreier Kost der morgendliche Nüchternwert der Serumchloride unter täglich heftigerem Durst an, zunächst ohne Bluteindickung, d. h. bei konstantem Serumweiß- und Hämoglobingehalt. Die Steigerung des Durstes bei gewohnheitsmäßig oder experimentell erhöhtem Flüssigkeitskonsum ist von Änderungen im Wasser- und Salzhaushalt begleitet, die eine Zunahme der Blutelektrolyte herbeiführen, und beide bleiben noch eine Weile zusammen bestehen, wenn das übermäßige Trinken auf den normalen Durchschnitt zurückgebracht wird. Aber an dieser Auslösung des Durstes durch gesteigerte osmotische Konzentration des Blutes sind wohl nicht immer allein die Salze beteiligt.

Beim Zuckerkranken scheint, wenn auch keineswegs immer, der erhöhte Blutzuckergehalt ähnlich wirken zu können und in *Chaussins* Versuchen über die Nierenfunktion bei Kostformen ganz verschiedenen N- und NaCl-Gehalts verursachte eine Kochsalzgabe bei gleichzeitigem hohen Eiweißumsatz sehr viel leichter und intensiver Durst als bei niedrigem.

Im Gegensatz zu allen Sinnesempfindungen im engeren Sinne, welche durch zentripetale Nervenerrregung zustande kommen, wird also *das Allgemeinegefühl des Durstes durch chemischen Reiz auf dem Blutwege vermittelt* und nur unter diesen allgemeinen cerebralen Bedingungen führt Trockenheit des Rachens zu der *örtlichen Komponente* der Durstempfindung. Die relative Unabhängigkeit triebartiger, automatisch regulierter Flüssigkeitsaufnahme von diesen Bewußtseinsvorgängen, die starke Veränderung der Durstempfindung hinwiederum bei Erkrankungen basaler Hirnteile und die Analogie zum Atemzentrum, das ebenfalls durch die Blutbeschaffenheit erregt wird, sprechen dafür, daß der *Angriffspunkt des chemischen Reizes* hier wie vielleicht bei allen nicht lokalisierbaren Gemeingefühlen (Hunger, Atemnot, Ermüdung, Ekel) nicht Neurone des Großhirns sind, sondern eben *tieferer Teile im Stammhirn*, deren Verbindung mit den zur Empfindung gehörigen Erregungen von Rindenbezirken allerdings noch ebenso unklar ist wie die Art und Weise, in der das örtliche Durstgefühl sich an das allgemeine knüpft.

Nach einer neuen Anschauung, die das Wesentliche der Durstempfindung im Rachen nicht in dessen Trockenheit, sondern in erhöhter Spannung und gehäuften Spontankontraktionen der Schlund- und Speiseröhrenmuskulatur sieht, soll der Weg über die Peripherie gehen, indem erst diese (durch Erregung der Zwischenhirnzentren veranlaßten) motorischen Reaktionen auf sensiblem Wege als Durst uns zum Bewußtsein kommen. Hingegen fanden wir an mehreren Versuchspersonen, daß, wenn nur der Betreffende hinreichend geübt ist, reizlos den kleinen druckregistrierenden Ballon (25–26 cm Abstand von der Zahnreihe) zu ertragen, wozu sich allerdings nicht jeder gleich gut eignet, auch bei starkem Durst die Druckvolum-Kurven der Speiseröhre vom Normalen nicht abzuweichen brauchen. Sie folgen vielmehr auch dann der Atemkurve und weisen die an sich verhältnismäßig seltenen, unwillkürlichen Spontanbewegungen der glatten Ösophagusmuskulatur nicht häufiger auf als sonst (cf. Fig. 1–4). Erscheint also die lokale Durstempfindung keineswegs nur als ein Kontraktionsgefühl, so ist doch andererseits das Vorkommen solcher allerdings von uns nicht beobachteter motorischer Erregungen von Interesse, angesichts der engen Beziehung, welche Gemeingefühle überhaupt vielfach zu motorischen Vorgängen, Auslösung triebartiger Handlungen usw. haben. Zum Verständnis der Durstempfindung

muß aber wohl eine nervöse Verbindung der tieferen Zentren, die vermutlich sympathischer Natur sind, mit dem sensiblen Vaguskerne und mit vorläufig nicht näher bestimmbar Rindenbezirken angenommen werden.

*Literatur (im Auszuge).*

E. Meyer, Zur Pathologie u. Physiologie des Durstes, Schriften des Wiss. Ges. Straßburg, 1918, Trübner. — L. R. Müller, Durst u. Durstempfindung, Deutsche Med. Woch. 1920, Nr. 5. — E. Leschke, Über die Durstempfindung, Archiv f. Psychiatrie u. Nerv.-Krankheiten 59½, S. 774.

## Besprechungen.

Cockayne, L., *The Vegetation of New Zealand*. („Die Vegetation der Erde“, herausgegeben von A. Engler und O. Drude, XIV.) 8°. XXII, 364 S., mit 2 Karten, 65 Tafeln u. 13 Textfig. Leipzig, Wihl. Engelmann, 1921. Preis geh. M. 210,—; geb. M. 250,—.

Für die seit mehr als zwei Jahrzehnten unter dem Titel „Die Vegetation der Erde“ erscheinende Sammlung pflanzengeographischer Monographien, der wir schon so manches schöne Werk zu verdanken hatten, bedeutet der vorliegende Band wieder eine überaus wertvolle Bereicherung als Beitrag eines in seinem Gebiete seit langen Jahren mit Erfolg tätigen Forschers, der hier von der Flora und Pflanzendecke eines pflanzengeographisch überaus interessanten, aber der Mehrzahl der Europäer unzugänglichen und in seinem Wesen nicht ganz leicht erkennbaren Landes ein wohl gelungenes Bild entwirft. Den reichen wissenschaftlichen Inhalt des Werkes hier im einzelnen zu würdigen, würde viel zu weit führen; eine gedrängte Inhaltsübersicht möge genügen, wobei die scharf bis ins einzelne durchgeführte, übersichtliche Stoffgliederung des Werkes als ein besonderer Vorzug hervorgehoben sei. Ein einleitendes Kapitel behandelt die Geschichte der botanischen Erforschung Neuseelands; ihm schließt sich eine 10 Seiten umfassende ausführliche Bibliographie an. — Der erste Hauptteil bringt eine kurze Skizze der physikalischen Geographie und Klimatologie; ihm ist eine vom neuseeländischen meteorologischen Institut entworfene Niederschlagskarte beigelegt. Nachdem so die Kenntnis der wichtigsten die Pflanzenwelt beeinflussenden äußeren Verhältnisse vermittelt ist, folgt nun im zweiten Hauptteil eine Schilderung der ursprünglichen Vegetation, gegliedert zunächst in drei Hauptabschnitte: Vegetation der Küste, des niederen Hügellandes und des höheren Berglandes. Jedesmal werden dabei zuerst die physiognomischen Leitpflanzen und ihre Wuchsformen geschildert; dann folgt eine Übersicht der maßgebenden biologischen Verhältnisse und endlich eine Darstellung der einzelnen Formationen. Der Gliederung der letzteren ist im allgemeinen das System von Warming, *Ecology of plants* (1909) zugrunde gelegt, doch betont Verf. mit Recht, wichtiger als ein noch so schönes System sei das richtige Erfassen des ökologischen Wesens der verschiedenen Formationen und eine Schilderung derselben, die sie auch dem deutlich vor Augen führt, der keine eigene Anschauung besitzt. Und in der Tat kann man sagen, daß die vom Verf. entworfenen Schilderungen nach dieser Richtung allen Ansprüchen genügen, wozu dann außerdem noch ein reiches Material an photographischen Vegetationsaufnahmen (95 Abbildungen auf 65 Tafeln) hinzu kommt. Ein besonderer Ab-

schnitt dieses Hauptteils ist dann noch den Vegetationsverhältnissen der kleineren, pflanzengeographisch sich an Neuseeland anschließenden Inseln (Kermadec-I., Chatham-I. usw.) gewidmet, während der Schlußabschnitt den Einfluß der Besiedelung durch die Europäer auf die ursprüngliche Pflanzendecke behandelt. Dieser Einfluß ist auf Neuseeland stellenweise so groß, daß manche Assoziationen geradezu europäischen Charakter tragen; Verf. betont aber — und dieses Ergebnis verdient unzweifelhaft allgemeineres Interesse —, man dürfe daraus nicht auf eine ökologische Unterlegenheit der ursprünglichen Vegetation schließen, sondern die Sache liege so, daß diese sich unverändert überall dort erhält, wo auch die ursprünglichen Existenzbedingungen keine einschneidende Änderung erfahren haben, während die eingeführten Arten es nur dort zu einer Verdrängung der alteingesessenen Vegetation gebracht haben, wo durch den Menschen unmittelbar oder mittelbar auch die Lebensbedingungen modifiziert worden sind. — Der letzte Hauptteil des Werkes endlich ist der Flora von Neuseeland und ihrer Verteilung gewidmet. Die Gliederung in 6 Florenprovinzen, von denen 4 auf die beiden Hauptinseln, die beiden anderen auf die Chathaminseln und die subantarktischen Inseln entfallen, läßt sich sowohl aus der Pflanzenverbreitung wie aus den klimatischen Verhältnissen unschwer ableiten; größere Schwierigkeiten bereitet teils wegen der vorhandenen Übergänge, teils wegen noch ungleichmäßiger Erforschung des Gebietes die weitere Sonderung dieser Provinzen in Distrikte, deren im ganzen 22 (davon 16 auf den Hauptinseln) unterschieden werden. Weiterhin wird dann das Gewebe der Flora in seine verschiedenen „Florenelemente“ aufgelöst, um so eine möglichst gesicherte Basis für die Beantwortung der Frage nach der Herkunft und Entwicklungsgeschichte der heutigen Flora zu gewinnen. Auch hier können wir den Darlegungen und Gedankengängen des Verf. nicht im einzelnen nachgehen, sondern begnügen uns damit hervorzuheben, daß nach seiner Auffassung die Flora Neuseelands trotz ihres hohen Grades von Endemismus (74 % der Arten) zwei nicht nur floristisch, sondern auch ökologisch recht verschiedene Hauptgruppen in sich schließt; die eine ist eine Kombination „paläozelandischer“ (d. h. im Tertiär autochthon entwickelter) und subantarktischer Typen, die sich durch die Fähigkeit, einen gewissen Grad von Kälte zu ertragen, auszeichnen; die andere ist aus einem alten paläotropischen Grundstock hervorgegangen, blickt aber ebenfalls auf ein so hohes Alter zurück, daß selbst endemische Gattungen sich bilden können, ohne daß sich doch aber ihre Glieder dem herrschenden Klima wirklich gut angepaßt zeigen. Die Beziehungen zur Flora von Australien kommen wesentlich in der Gemeinsamkeit subantarktischer oder paläotropischer Typen zum Ausdruck, die echt australischen Florenelemente (z. B. Eucalyptus, Acacia) gehen Neuseeland fast völlig ab. Der letzte Abschnitt enthält dann endlich den Versuch einer Entwicklungsgeschichte der Flora; dabei werden allerdings nur die wichtigsten Umriss und ihr Zusammenhang mit den geologischen Ereignissen kurz angedeutet, da über eines der wichtigsten Grundprobleme, die Annahme ehemaliger ausgedehnter Landbrücken im subantarktischen Gebiet, noch keine Einhelligkeit der Meinungen besteht und kein Argument für die unbedingte Richtigkeit der einen oder anderen Auffassung geltend gemacht werden kann.

W. Wangerin, Danzig-Langfuhr.



Engler, A., Die Pflanzenwelt Afrikas, insbesondere seiner tropischen Gebiete. III. Band. Die Charakterpflanzen Afrikas. 2. Heft. Die dikotyledonen Angiospermen. („Die Vegetation der Erde“, herausgegeben von A. Engler und O. Drude. IX. Bd. III, H. 2.) Leipzig, Wilh. Engelmann, 1921. 8°. VII, 878 S., mit 338 Textfig. Preis geh. M. 340,—; geb. M. 375,—.

Mit einem Gefühl des Stolzes, zugleich aber auch der Wehmut und Trauer begrüßt der deutsche Pflanzengeograph das Erscheinen des vorliegenden stattlichen Bandes. Ist er doch gleichsam ein Meilenstein an dem Wege, den die deutsche Wissenschaft unter Englers zielbewußter und tatkräftiger, nie rastender Führung durch mehr als drei Jahrzehnte bei der Erforschung der Pflanzenwelt des dunklen Erdteiles zurückgelegt hat; auf der anderen Seite aber bringt er uns auch wieder besonders schmerzlich den Verlust zum Bewußtsein, den auch die deutsche Wissenschaft durch den Raub unserer Kolonien erlitten hat. Inhaltlich bedeutet der vorliegende Band, wie dies auch schon in der Bezeichnung „Band III, Heft 2“ zum Ausdruck kommt, die Fortsetzung und den vorläufigen Abschluß jenes Teiles des Gesamtwerkes, der eine nach den Familien systematisch geordnete Schilderung der Charakterpflanzen Afrikas bringt; neben knappen, aber festumrissenen und durch eine große Zahl trefflicher Figuren erläuterten Kennzeichnungen der wichtigsten Merkmale der Gattungen und Arten von den Euphorbiaceen bis zu den Umbellifloren (also bis zum Schluß der dikotyledonen choripetalen Angiospermen) werden jeweils kurze Darstellungen des biologischen Verhaltens und der Verbreitungsgeschichte gegeben. Auf die zur Vollendung dieses Teiles noch fehlende entsprechende Behandlung des Restes der Blütenpflanzen, also der sympetalen Angiospermen, ist leider in absehbarer Zeit nicht zu rechnen; war doch die Vollendung der Drucklegung schon des vorliegenden Bandes nur dank dem opferbereiten Entgegenkommen des Verlegers möglich, da die vor mehr als 10 Jahren von dem ehemaligen Reichskolonialamt gewährte Subvention auf völlig andere Verhältnisse berechnet war und bei der gegenwärtigen Teuerung nur einen Bruchteil der Herstellungs- und Druckkosten zu decken vermochte. So bleibt hier also bis auf weiteres eine Lücke, deren Bestehen allerdings dadurch etwas gemildert wird, daß die Zahl der für die landschaftliche Physiognomie bestimmenden sowie der forstlich und technisch wichtigen Arten in den noch ausstehenden Familien nicht so groß ist wie bei den Formenkreisen, deren Behandlung zum Abschluß gebracht ist.

Da jene Familien bezüglich der Verbreitungserscheinungen grundsätzlich Neues nicht ergeben würden, so hat Verf. bereits diesem Bande ein Schlußkapitel angefügt, das eine kurze Darstellung der wichtigsten allgemeinen Ergebnisse bringt, zu denen die Analyse der afrikanischen Flora und die Verfolgung ihrer verwandtschaftlichen Beziehungen zu den benachbarten Erdteilen ihn geführt hat. Es ist dies einerseits eine Rekapitulation des Schlußabschnittes einer im Jahre 1914 erschienenen Abhandlung des Verf. über die Morphologie, Systematik, Verbreitung und Herkunft der Xerothermen, zu der ja die wichtige Rolle der Xerophyten in der Vegetation Afrikas vor allem den Anstoß gegeben hatte. Andererseits werden in diesem Schlußkapitel solche Verbreitungserscheinungen zusammengestellt, die auf die mutmaßlichen Wanderungswege ein Licht werfen. Neben den Pantropisten werden dabei vor allem die paläotropischen

Elemente berücksichtigt, für die hauptsächlich zwei Wege in Betracht kommen, nämlich der eine vom nord-westlichen Indien über Arabien nach Nordostafrika, der andere von Indien und dem malaischen Teil des Monsungebietes über die Maskarenen und Madagaskar nach Ostafrika; beide Wege müssen in der Vergangenheit, als noch im nördlichen Afrika das Kreidemeer ein anderes Klima bedingte und Lemurien die Verbindung Vorderindiens mit Afrika herstellte, von großer Bedeutung gewesen sein. Ferner führen gewisse Verbreitungserscheinungen, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, den Verf. zu dem Schluß, daß die guineensische oder westafrikanische Waldflora ehemals eine größere Ausdehnung nach Osten besessen haben muß. Andererseits ergibt sich aus der Tatsache, daß das mediterran-afrikanische Florenelement sich nicht nur in Abessinien und dem Somalilande reich entwickelt zeigt, sondern unter Überspringen des Tropengürtels auch in Südafrika wieder auftritt, die Annahme, daß einmal in einer Periode größerer Trockenheit wenigstens mehrere der betreffenden Gattungen auch in Zentralafrika vertreten waren.

W. Wangerin, Danzig-Langfuhr.

Lucanus, Friedrich von, Die Rätsel des Vogelzuges. Langensalza, Hermann Beyer & Söhne. Groß Oktav. VI, 226 S. Preis geh. M. 30,—.

Der Verfasser des vorliegenden Buches, der auch in diesen Blättern wiederholt über seine Vogelzugstudien berichtet hat, ist im Augenblick wie kein anderer deutscher Ornitholog berufen, ein Urteil über die Rätsel des Vogelzuges sowie über die vielen damit in Verbindung stehenden Probleme abzugeben. Nicht nur, daß er die umfangreiche deutsche und fremde Literatur über den Gegenstand vollständig beherrscht: er hat auch Dezennien hindurch praktisch an der Lösung der Fragen, die der Vogelzug bietet, mitgearbeitet. Die experimentellen Versuche, die hierbei in Frage kommen, und von Lucanus in der Vogelwarte der Deutschen Ornithologischen Gesellschaft in Rossitten auf der Kurischen Nehrung viele Jahre hindurch erprobt wurden, sind zum nicht geringen Teil auf seine Initiative zurückzuführen. Theoretische Erwägungen und mehr oder minder geistvolle Hypothesen über Entstehung und Ursache, über Richtung des Zuges und über das Problem der Zugstraßen, ferner über die Orientierung der Zugvögel und andere wichtige biologische Fragen konnten zu keinem Resultat führen. Erst durch die experimentelle Forschung, durch das Beringen der Vögel, durch das Heranziehen der Aviatik und Aeronautik wurden die Beobachtungen gewonnen, die zur Annahme und zur Festlegung bestimmter biologischer Tatsachen berechtigten. Die Ergebnisse all dieser Forschungen, die im Laufe des letzten Vierteljahrhunderts gefunden wurden, werden in dem vorliegenden Werke in umfassender und kritischer Weise behandelt. Das Buch wendet sich nicht nur an den zünftigen Ornithologen, der der Lösung biologischer Fragen nachgeht, sondern auch an den denkenden Naturfreund, dem die umgebende Tierwelt und deren Lebenserscheinungen Anregung zu eigenen Beobachtungen gibt.

In einem geschichtlichen Überblick zeigt Lucanus, wie sich die Anschauungen über den Zug der Vögel im Laufe der Jahrhunderte gestaltet haben, wie aber die verschiedenen Hypothesen wechselten und die gewonnenen Feststellungen wissenschaftlicher Kritik nicht standhielten. — Erst die Vogelberingung brachte einen Wandel. Auf diese Beringungsversuche geht der



Verfasser eingehend ein und bespricht in umfassender Weise die bis heute gewonnenen Resultate des Ringversuches bei einer großen Anzahl von Arten. Es darf nunmehr mit einer an Gewißheit grenzenden Wahrscheinlichkeit gesagt werden, daß der Zugvogel unbewußt und instinktiv handelt. Der Zug der Vögel ist im Laufe der Jahrtausende eine erbliche Eigenschaft geworden; der Vogel zieht, sobald der periodisch auftretende Zugtrieb in ihm erwacht, für den es einer besonderen Veranlassung nicht bedarf und für welchen äußere Einflüsse, wie Nahrungsmangel, Geschlechtstrieb oder Veränderungen der Witterung nicht bestimmend sind.

Es ist an dieser Stelle in dem beschränkten Raum eines kurzen Hinweises nicht möglich, auf die anregende Darstellung einzugehen, die von *Lucanus* in dem Abschnitt über die Orientierung der Zugvögel, über den Weg, den sie nehmen, über die Höhe des Zuges, der sich nicht, wie *Gütke* glaubte, bis in Regionen von 20 000 Fuß und mehr erstreckt, über die Schnelligkeit der Wanderung — *Heinrich Gütke* nahm bekanntlich an, daß ein kleines Blaukehlchen in einer Nacht von der Küste des Mittelmeeres bis nach Helgoland fliegen könnte — und andere wichtige, die Materie behandelnde Fragen in seinem Buche gegeben wird. Der Verfasser beschreitet in seinem Werke vollständiges Neuland. Seine Untersuchungen werden für weitere Forschungen stets grundlegend bleiben, mannigfache Diskussionen werden sich seinen Darlegungen anschließen und manche Ansicht von ihm wird vielleicht bekämpft werden; ein jeder aber, der sich von nun ab mit der Lösung des Problems des Vogelzuges beschäftigen wird, darf das vorliegende Werk nicht weit aus der Hand legen.

Herman Schalow, Berlin.

**Tigerstedt, Robert, Die Physiologie des Kreislaufs.** 2. vermehrte und stark verbesserte Auflage. 1. Band mit 177 Abbildungen, 2. Band mit 169 Abbildungen. Berlin und Leipzig, Vereinigung wissenschaftlicher Verleger, 1921.

Im Jahre 1893 erschien die erste Auflage dieses Werkes, welches den damaligen Stand des Wissens über den Kreislauf in so mustergültiger Weise lehrbuchmäßig zusammenfaßte, daß es wohl das meist gelesene Buch dieses Gebietes wurde. Achtundzwanzig Jahre später erscheint die zweite Auflage, ein ganz neues Werk, neu in seinem äußeren Umfange, neu durch die Fülle von Gegenständen, die in der früheren Auflage überhaupt nicht behandelt werden konnten, und durch die völlige Umarbeitung des ehemals dargestellten Materiales. Was aber geblieben ist, das ist der Geist der Behandlung der Lehre des Kreislaufs ganz im Sinne *Carl Ludwigs*, dessen hervorragender Schüler *Tigerstedt* ist und zu dessen hundertstem Geburtstag der Universität Leipzig das neue Werk des Helsingforscher Physiologen gewidmet ist, das ist die klare und fesselnde Darstellungsweise, die souveräne Beherrschung des Gegenstandes und die ganz und gar nicht spezialistische, immer die Gesamtheit der biologischen und medizinischen Gesichtspunkte ins Auge fassende Betrachtungsweise.

In der Lehre vom Kreislauf gibt es zurzeit recht heiß umstrittene Gebiete, beispielsweise das Herzflimmern, die Reizbildung im Herzen und das anatomische Substrat der Herzautomatie. Gerade in der Behandlung dieser Dinge tritt die sorgfältig abwägende, alle Seiten berücksichtigende Darstellungskunst des Autors hervor; er nimmt nicht Partei, versteht jedoch Wege

zu weisen, welche aus umstrittenen Tatsachen und Deutungen zu neuen Arbeitsausblicken hinführen. Im ersten Bande zeigt *Tigerstedt* bei der Darstellung von der Lehre von den Herztönen und bei der Erörterung der Druckschwankungen im Herzen während der Tätigkeit seine ganze Kunst, schwierige, neue Methoden und deren physikalische Theorie klar zu machen. Das gleiche gilt von der Art und Weise, wie er im zweiten Bande die elektrischen Erscheinungen am Herzen behandelt, Erscheinungen, die seit *Einthovens* genialer Methode des Saitengalvanometers Theoretiker wie Kliniker auf das lebhafteste interessieren. Es ist zu wünschen, daß die beiden noch ausstehenden Bände bald erscheinen. Wenn sie das halten, was die beiden vorliegenden Bände leisten, werden wir im guten Sinne des Wortes ein Standardwerk der Physiologie des Kreislaufs besitzen. *Leon Asher, Bern.*

**Krais, Paul, Werkstoffe.** Handwörterbuch der technischen Waren und ihrer Bestandteile. Erster Band A—F. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1921. 529 Seiten. Preis geh. M. 90,—; geb. M. 115,—.

Die Grundlage des in seinem ersten Teil vorliegenden Handwörterbuches bildet folgende Definition des Begriffes *Werkstoff*: „Werkstoffe sind: Alle natürlichen und zubereiteten technischen Stoffe, welche die Materie oder materielle Teile einer Ware des Großhandels bilden, gleichviel ob sie künstlich geformt sind oder nicht. Ausgenommen sind: EB-, Trink-, Genuß- und Arzneiwaren, Pflanzen und Tiere, Futter-, Düng-, Würz- und Riechstoffe, kosmetische Mittel, Kleidung und Schuhwerk, Hausrat, Schmuck, Kunst- und Luxusgegenstände.“

Eine Begrenzung des Inhalts eines Nachschlagewerks auf eine gewisse künstlich abgegrenzte Inhaltsgruppe bedeutet einen Verzicht auf einen Teil seines Anwendungsbereiches. Wenn man ein solches spezielleres Nachschlagewerk oft einem allgemeineren vorziehen wird, so liegt das daran, daß das letztere entweder äußerst umfangreich, also schwerfällig und teuer, oder aber sehr kurz und arm an ausführlicheren Informationen sein muß. Diese Fehler werden durch eine allgemeine inhaltliche Schrankensetzung beseitigt. Ohne allzu großen Umfang des Gesamten kann das Einzelne doch ausführlich behandelt werden, um so mehr, als der Inhalt des Handwörterbuches einen fachmännisch schärfer umrissenen Leserkreis voraussetzt und damit einen auch für einen Fachmann wertvollen Charakter erhalten kann. Voraussetzung für den Wert eines solchen Nachschlagewerkes ist eine zweckmäßige Gebietsbegrenzung.

Es scheint nun, daß der Begriff des „Werkstoffes“ tatsächlich eine zweckmäßig gewählte Klassifikationsgruppe darstellt, und daß zahlreiche Vertreter der Technik und der Wissenschaft, die für rein technologische Fragen sowie für Einzelheiten der Herstellung der Werkstoffe nur ein geringeres Interesse haben, die Möglichkeit freudig begrüßen werden, sich dafür über Natur, Eigenschaften, Beurteilungsart und Anwendung eingehender informieren zu können.

Im Handwörterbuch von *Krais* fällt die weitgehend durchgeführte architektonische Gliederung des Materials angenehm auf. Das Material wird nicht in zersplitterter Form bei den einzelnen Werkstoffnamen gegeben, sondern in zusammenhängender Darstellung bei den einzelnen Werkstoffe umfassenden Gattungsbegriffen. Bei den speziellen Werkstoffen braucht dann nur auf die Stelle verwiesen zu werden, an welcher sie im größeren Rahmen behandelt wer-



den. Die gesuchte Angabe erhält man auf diese Weise mit derselben Sicherheit, wie bei der üblichen Anordnung der Nachschlagewerke, zugleich informiert man sich aber viel *rationeller* über die Natur des gesuchten Werkstoffes. So findet man bei *Dulzin* nur die Angabe: „siehe Zucker 6, Ersatzstoffe“, bei *Duralumin*: „s. Legierungen III“, bei *Durament*: „s. Steine III, 10, D“, bei *Dynamit*: „s. Sprengstoffe V, 6“ usw. Diese Werkstoffe sind im Rahmen der angegebenen Gattungsbegriffe behandelt. In den meisten anderen Nachschlagewerken wird man bei diesen Namen kurze Angaben über die Zusammensetzung der Stoffe, ihre Eigenschaften und Anwendung finden, wobei jede Behandlung der *Zusammenhänge* unterdrückt wird und zahlreiche Wiederholungen unvermeidlich werden; hierdurch leidet aber wieder unter dem Gebot der Raumsparnis die Vollständigkeit.

Die ausführlichere Behandlung der wichtigeren Gattungsbegriffe erhält dadurch einen viel lebendigeren Charakter. Man kann sie oft mit Genuß lesen. Sehr angenehm sind die überall vorhandenen zahlreichen Literaturangaben, die sich nicht nur auf Originalarbeiten, sondern auch auf zusammenfassende Werke beziehen sowie die Angaben der Bezugsquellen.

Der größte Abschnitt im vorliegenden Teil des Handbuchs betrifft „Eisen und Stahl“, mit folgender Inhaltsübersicht (im ganzen 116 Seiten):

- A. Das Eisen als chemisches Element.
- B. Eisen und Stahl als Werkstoff.
  - I. Allgemeines. Materialprüfung.
  - II. Flußeisen und Flußstahl.
  - III. Gußeisen und Gußstahl.
  - IV. Schweißeisen.
  - V. Werkzeug- und Spezialstähle (Sonderstähle).
  - VI. Chemische Analyse.
  - VII. Wirtschaftliches.

Man erhält somit die Möglichkeit, sich schnell und umfassend über ein Gesamtgebiet zu informieren, wie sie uns in einem Lehrbuche kaum jemals geboten wird. Alle Gebiete sind eingehend, mit zahlreichen Diagrammen, behandelt. Die Angaben scheinen alle zuverlässig zu sein.

Der geschilderte Charakter des Werkes, der die Vorzüge eines Lexikons mit denen eines Lehrbuches verbindet, wird das Handwörterbuch von *Krais* für alle, für die das Gebiet der „Werkstoffe“ ein größeres Interesse hat, seien es Wissenschaftler oder Techniker, zu einem willkommenen Hilfsmittel ihrer Arbeit machen.

Es sei noch bemerkt, daß der Inhalt sich streng an die Grenze des Begriffes „Werkstoff“ hält. Man darf also im Werk z. B. keine Angaben über Chemikalien, die nicht im Großhandel sind, erwarten.

G. Masing, Berlin.

**Wissenschaftliche Forschungsberichte.** Naturwissenschaftliche Reihe, herausgegeben von *Raphael Ed. Liesegang*: Bd. III, **Organische Chemie**, bearbeitet von Dr. R. Pummerer. Dresden und Leipzig, Th. Steinkopff, 1921. XI, 182 S. Preis M. 36.—.

Auf die „Theorien der organischen Chemie“ von F. Henrich ist in kurzem Zwischenraum das Werk von Pummerer gefolgt, das in mancher Hinsicht die sehr notwendige und wünschenswerte Ergänzung des ersten bildet, insofern hier nicht die Theorien, sondern die *tatsächlichen Forschungsergebnisse* in den Vordergrund gestellt werden, aus welchen die Theorien (mit wechselndem Erfolg) abgeleitet werden. In erster Linie sind die experimentellen Arbeiten berück-

sichtigt, die auf dem Gebiet der organischen Chemie seit 1914 (bis 1920, z. T. sogar 1921) erschienen sind, und dieser Zeitpunkt rechtfertigt sich dadurch, daß für die große Mehrzahl der deutschen Chemiker eine kritische Verfolgung namentlich auch der ausländischen Literatur kaum möglich war. Aber auch jetzt kommt das Werk einem dringenden Bedürfnis entgegen. Eine nachholende Orientierung über die Fülle des Materials ist seit dem Nichterscheinen des R. Meyerschen Jahrbuchs (1918) sehr mühsam. Knappe kritische Zusammenstellungen des in seiner Gesamtheit vom Spezialforscher nicht mehr zu beherrschenden Stoffes sind daher, wenn auch nicht jährlich, so doch in kurzen Zeiträumen absolut unentbehrlich, wenn man nicht den Überblick verlieren will. Die deutsche chemische Welt kann Dr. Pummerer nur außerordentlich dankbar sein für seine wertvolle, mit größter Sachkenntnis durchgeführte Arbeit, in der kritische Auswahl des wichtigsten Materials mit klarer und anregender Darstellung aufs beste vereinigt sind.

Die Arbeitsrichtung der organischen Chemie hat sich seit ein bis zwei Dezennien wesentlich und zunehmend geändert. Wurden früher hauptsächlich synthetische Verbindungen (namentlich der aromatischen Reihe) auf ihre valenzchemischen Reaktionen hin untersucht, so hat sich jetzt nach Erledigung mancher notwendigen Vorfragen das Interesse biochemischen Problemen zugewendet, der Chemie des Pflanzen- und Tierorganismus, den Bildungsvorgängen ihrer meist aliphatischen Verbindungen, und ihrer physiologischen Bedeutung für den Organismus.

Dementsprechend behandelt Pummerer die Valenzprobleme auf nur 55 Seiten. Hierher gehören die Abschnitte: Metallorganische Verbindungen, freie Radikale (Verbindungen mit dreiwertigem Kohlenstoff resp. mit zwei- und vierwertigem Stickstoff), Thermochemie, Absorptionsspektren, Oxonium- und reaktionsfähige Schwefelverbindungen, Keto-Enol-Isomerie, Verbindungen mit Zwillingsdoppelbindungen. Schon diese z. T. neue und originelle Gruppierung des Stoffes wirkt sehr anregend.

An dieses Kapitel schließt sich (auf 14 Seiten) die Schilderung der letzten Arbeiten von größtenteils praktischem Interesse: Probleme der Kohleveredelung, Tieftemperaturteer, chemische Verarbeitung des Acetylen auf Essigsäure, Isopren, Umwandlung in aromatische Verbindungen, synthetische Farbstoffe der Anthrachinonreihe (kondensierte Ringsysteme), Indigo- und Triphenylmethanfarbstoffe, Kupplungsreaktionen von Diazoverbindungen. Die auf S. 66—77 folgenden katalytischen Oxydations- und Reduktionsmethoden: Formaldehyd aus Äthylen, Fettsäuren aus Paraffinen usw., Tetralin aus Naphthalin u. a. m. gehören, wenigstens dem industriellen Charakter nach, ebenfalls hierher.

Die sehr viel größere Hälfte des Buchs nehmen jedoch die Fortschritte der Chemie der Naturstoffe ein: Kautschuk, Terpene, Cholesterin und Gallensäuren; Zucker, Zellulose, Stärke (hier bei der rapiden Entwicklung dieses Gebiets manches schon überholt resp. sehr ergänzungsbedürftig), Anthocyane (Blütenfarbstoffe usw.); Gerbstoffe; Enzyme und Hormone; Alkaloide; Blutfarbstoffe, Chlorophyll-Assimilation. Bei manchen dieser Abschnitte liegen allerdings schon zusammenfassende Darstellungen der betr. Forscher vor, so von E. Fischer und R. Willstätter; trotzdem wird auch für den Nichtspezialisten das klare Herausheben des Kerns mit Außerachtlassung der nebensächlichen Details sehr angenehm empfunden werden.



An einer erfreulichen Tatsache soll hier nicht ohne Hinweis vorübergegangen sein. Auch bei durchaus gewissenhafter und objektiver Würdigung ausländischer Arbeiten, in der Verf. stellenweise sogar *sehr* weit geht (so gegenüber den durchaus unfertigen Untersuchungen über das Thyroxin der Schilddrüse von Kendall S. 141), ergibt sich ein Anteil *deutscher* unter den schwierigsten Bedingungen geleisteter Arbeit auf diesem Gebiet von über 90 %. Möchte es uns beschieden sein, dies Verhältnis auch für die Zukunft aufrechtzuerhalten.

P. Friedlaender, Darmstadt.

Lippmann, Edmund O. von, *Zeittafeln zur Geschichte der organischen Chemie*. Berlin, Julius Springer, 1921. XI, 67 S. Preis M. 18,—.

Das Werk des Verfassers, dem wir bereits zahlreiche äußerst wertvolle Publikationen historischen Inhalts verdanken, soll nach einer bescheidenen Bemerkung im Vorwort eine Ergänzung zu den beiden umfangreicheren Darstellungen der „Geschichte der organischen Chemie“ von Hjelt (1916) und von Graebe (1920) bieten, welche beide kein *Sachregister* besitzen und dadurch ein schnelles Nachschlagen und Orientieren erschweren. In der Tat ist es sehr viel mehr. Für den schon etwas fortgeschrittenen Chemiker ist es schon eine Geschichte der organischen Chemie in nuce, anfangend mit dem Jahr 1500 und chronologisch durchgeführt bis 1890, etwa dem Zeitpunkt, an dem der Massenbetrieb der organischen Chemie einsetzte und diese Art der Registrierung der wichtigsten Entdeckungen unübersichtlich geworden wäre. Sie besteht darin, daß dieselben in kurzen Schlagworten zugleich mit dem Namen des Entdeckers für jedes Jahr wiedergegeben werden. Der Hinweis auf die Original-literatur, z. T. auch auf die betr. Stelle der ausführlichen Werke von Hjelt und Graebe erleichtern ein weiteres Eindringen in den Stoff, ein ausführliches Namens- und Sachregister die schnelle Orientierung. Zahlreiche Anmerkungen belehren über die Herkunft der Namen namentlich der älteren chemischen Verbindungen und zeigen, mit welcher etymologischen und grammatikalischen Unbekümmertheit die Chemie hier vorgegangen ist. v. Lippmanns Zeittafeln sollten in keiner Bibliothek eines chemischen Hochschullaboratoriums fehlen.

P. Friedlaender, Darmstadt.

## Deutsche Geologische Gesellschaft zu Berlin.

Prof. Grupe sprach in der Sitzung am 4. Januar 1922 über das *Altersverhältnis der herzynischen und rheinischen Dislokationen*. Im Gebiete des mittel- und nordwestdeutschen Schollengebirges treten als Hauptstörungsrichtungen die herzynische, i. a. SO—NW, und die rheinische, i. a. N—S verlaufende Richtung auf, von denen lange Zeit die zweite für jünger gehalten wurde. Ausgehend von seinen Untersuchungen in S-Hannover gelangte aber der Vortragende zur Ansicht der Altersgleichheit der beiden Richtungen. In der hessischen Senke und im Solling haben wir in post-varistischer Zeit einmal eine ältere Störungsphase, deren Alter sich infolge des Fehlens jüngerer mesozoischer Ablagerungen nur als präillogocän feststellen läßt. Die rheinische Richtung ist in dieser Zeit bevorzugt, verwirft jedoch nirgends gleichfalls auftretende herzynische Störungszone. Vielmehr münden beide Richtungen vielfach ungestört ineinander ein, wie dies z. B. am Umlenken des Leinetalgrabens in das Markoldendorfer Becken hervortritt. In der

zweiten, jungtertiären Störungsphase, die durch das Auftreten der Basalte gekennzeichnet ist, finden wir wieder beide Richtungen. Eine Differenzierung liegt hier aber insofern vor, als die Basalte sich bei ihrem Empordringen besonders die rheinisch gerichteten Zerrüttungszone auswählten, während die herzynischen meist gemieden wurden, wie es sich z. B. in der Gegend von Hildburghausen beobachten läßt. Im Solling dagegen finden wir Basalte an Störungen beider Richtungen. In Niedersachsen, im Gebiete der saxonischen Faltung *Stilles*, lassen sich durch das Auftreten jüngerer mesozoischer Sedimente in präillogocäner Zeit mindestens vier Störungsphasen dem Alter nach festlegen, in denen beide Richtungen verschiedentlich nach *Grube* als gleichzeitig nachgewiesen sind. Der Vortragende führte aus, daß es in diesem Gebiete *Haarmann*, der für ein jüngerer Alter der herzynischen Störungen neuerdings eintritt, nicht gelungen sei, einen sicheren Beweis für seine Ansicht zu führen, auch nicht an den durch Bergbau und Bohrungen gut bekannten Salzstöcken. Man könne nur eine Bevorzugung der einen oder der anderen Richtung in den verschiedenen Phasen feststellen. Im Gebiete der Niederrheinischen Bucht, das gerade in junger, auch noch diluvialer Zeit intensiven Störungen unterlag, herrscht NW-Richtung vor, ohne daß sich jedoch ein Altersunterschied gegen rheinische Störungen feststellen läßt. Zum Schluß wies der Vortragende darauf hin, daß mechanisch die Vorstellung der Gleichzeitigkeit beider Störungsrichtungen gewisse Schwierigkeiten bereite, die sich aber bei Zuhilfenahme der Ansicht *Stilles* von der Rahmenfaltung beheben ließen, wenn man annimmt, daß die alten varistischen Rumpfe des Rheinischen Schiefergebirges usw. richtungbestimmend gewirkt haben. In Verfolgung dieses Gedankens würde sich dann ergeben, daß auch schon in prä-saxonischer Zeit NS- und NW-Störungen vorhanden waren, wie dies ja auch neuerdings z. B. im Saargebiet, Schwarzwald, Thüringer Wald u. a. a. O. nachgewiesen ist.

Geheimrat *Keilhack* legte eine von der Preussischen Geologischen Landesanstalt herausgegebene *neue geologische Übersichtskarte der Provinz Brandenburg* im Maßstab 1 : 500 000 vor. Sie bildet die erste Lieferung eines von der genannten Anstalt geplanten Kartenwerkes, welches evtl. ganz Deutschland darstellen soll. Die topographische Unterlage wurde in zweckentsprechender Weise neu gezeichnet und auf photolithographischem Wege vervielfältigt. Das Gebiet der Karte ist etwa begrenzt durch die Städte Magdeburg, Stettin, Senftenberg und Filehne und umfaßt 75 000 qkm. Besonders bei den Ablagerungen der Diluvialzeit, die ja den weitaus größten Teil bedecken, kommen hier viele neuere Forschungsergebnisse zum erstenmal in übersichtlicher Weise zur Darstellung, so z. B. die Verbreitung der kuppigen Grundmoränenlandschaft, der Aser, der Endmoränenzüge der verschiedenen Eiszeiten und die Südgrenze der letzten Vereisung. Auf die wichtigen Folgerungen, die sich dabei besonders für die Entstehung der diluvialen Ablagerungen ergaben und die *Keilhack* erwähnte, kann hier nicht eingegangen werden. Um die Reichhaltigkeit der Karte zu zeigen, sei nur darauf hingewiesen, daß die Gliederung der eiszeitlichen Ablagerungen in petrographischer, stratigraphischer und morphologischer Hinsicht erfolgte. Die neue Karte wird ein sehr erwünschtes Hilfsmittel für den Unterricht an höheren Schulen und zum Selbststudium sein und kann eine gute Stütze für alle Bestrebungen bilden, die der Geologie eine wich-



tige Rolle für die Heimatkunde wünschen. Sie wird voraussichtlich in einigen Wochen bei der Vertriebsstelle der Geologischen Landesanstalt in Berlin N 4, Invalidenstr. 44, zum ungefähren Preise von 40 M. zu kaufen sein.

W. D.

## Physikalische Mitteilungen.

**Der positive Spitzenstrom.** (Nach *J. Stark*, *M. Weth* und *P. A. Schultze*.) Man hielt lange die Spitzenentladung aus positiver oder negativer Spitze ähnlich wie den Lichtbogen für eine speziellere Form der Glimmentladung. Für den Fall der negativen Spitze hat sich dies bestätigt; ist dagegen die Spitze positiv, so treten bei geeigneter Versuchsanordnung völlig andere Erscheinungen auf, deren Bedingungen zuerst *J. Stark* (Die Elektrizität in Gasen, 1902) erkannt hat.

Man unterscheidet bekanntlich beim Elektrizitätsdurchgang durch Gase unselbständige und selbständige Strömung, Bezeichnungen, die von *Stark* (1902) herühren. Das Hauptmerkmal der selbständigen Strömung ist das Bestehen einer Minimalspannung, unterhalb deren keine selbständige Strömung möglich ist. Eine Übersicht über das Gesamtgebiet der Gasentladungen gibt *Stark* in Winkelmanns Handbuch Bd. 4, 1905. Hier unterscheidet *Stark* zuerst die verschiedenen Arten der selbständigen Strömungen durch die Art und Zahl ihrer Ionisierungspartien. Es wird also an Stelle der älteren Einteilung nach Form und Ausdehnung der Elektroden und der äußeren Lichterscheinungen ein neues Einteilungsprinzip aufgestellt, das durch den inneren Mechanismus der Strömung begründet ist. Bei den meisten Untersuchungen über Spitzenentladung (z. B. *Warburg*, *Toepler*, *Tamm* u. a.) lag nicht Spitzenstrom im Starkschen Sinne, sondern Glimmstrom vor. Noch im Handwörterbuch der Naturwissenschaften (1913) erklärt *Leithäuser* im Artikel Spitzenentladung diese nach äußeren Merkmalen; es wird zwar Entladung aus negativer und positiver Spitze unterschieden, daß aber die Strömung aus negativer Spitze mit dem Glimmstrom identisch ist, und daß der positive Spitzenstrom eine gänzlich andere Strömung darstellt, kommt nicht klar zum Ausdruck. Der positive Spitzenstrom wird vielmehr als dem anodischen Glimmlicht des Glimmstroms ähnlich bezeichnet, während gerade die Ionisierungserscheinungen vor der Spitzenstromanode andere sind als vor der Glimmstromanode. Erst *Stark* zieht einen scharfen Strich zwischen Glimmstrom und positivem Spitzenstrom. Der Glimmstrom ist charakterisiert durch zweifache Grenzionisierung an der Kathode (erste Kathodenschicht und negatives Glimmlicht) und einfache Grenzionisierung an der Anode (Anodenschicht). Der positive Spitzenstrom ist charakterisiert durch zweifache Grenzionisierung an der Anode (erste und zweite Anodenschicht) und keine Grenzionisierung an der Kathode.

Wie die Ionisierungsspannung der positiven Ionen gegen das Kathodenmetall maßgebend ist für den normalen Kathodenfall des Glimmstroms, so ist die Ionisierungsspannung der positiven Ionen gegen das Gasinnere maßgebend für den normalen Anodenfall des positiven Spitzenstroms. *Stark* (Verh. d. Phys. Ges. 6, 112, 1904) ermittelte diesen Anodenfall und damit die Ionisierungsspannung der positiven Ionen gegen das Gasinnere. Sie beträgt für Luft 440 Volt, für Stickstoff 450 Volt, während sie, gemessen am Glimm-

stromkathodenfall gegen Platin als Kathodenmetall für Stickstoff nur 232 Volt beträgt.

Die zweifache Grenzionisierung an der Anode ist nur dann möglich, wenn an der Kathode keine negativen Ionen erzeugt werden, sondern die von der Anode beschleunigten Ionen gezwungen sind, die zur Aufrechterhaltung der Ionisierung erforderlichen negativen Ionen selbst zu erzeugen. Der Spannungsabfall auf der freien Weglänge der positiven Ionen muß also an der Kathode unterhalb des normalen Glimmstromkathodenfalls bleiben, während an der Anode entsprechend der höheren Ionisierungsspannung der positiven Ionen gegen das Gasinnere ein großer Spannungsabfall liegen muß. Diese Existenzbedingungen des positiven Spitzenstroms verwirklicht man leicht dadurch, daß man eine ausgedehnte Platte zur Kathode, eine Spitze zur Anode macht.

*M. Weth* (Ann. d. Phys. 62, 589, 1920) zeigte, daß als Anode eine Spitze nicht unbedingt nötig ist. Er verwendet vielmehr kleine Kreisscheiben von 1,5 bis 5 mm Durchmesser. Dadurch wird die Lichterscheinung übersichtlicher und der spektrographischen Untersuchungsmethode zugänglich, die hier zum ersten Male auf den positiven Spitzenstrom (in Wasserstoff) angewendet wird. Eine frühere spektrographische Untersuchung (v. *Dechend*, Dissertation Freiburg 1909) über Spitzenentladung behandelt Glimmstrom.

Die im positiven Spitzenstrom von der Anode beschleunigten positiven Ionen kann man als langsame Kanalstrahlen auffassen: „Ferner dürfen als Kanalstrahlen diejenigen Moleküle und Atome bezeichnet werden, welche mit einer positiven Ladung von einer Anode ausgehen und unter der Wirkung eines vor ihr liegenden Spannungsabfalls eine Geschwindigkeit erlangen, welche die mittlere thermische Geschwindigkeit übersteigt.“ (*Stark*, Jahrb. d. Rad. u. El. 15, 332, 1918.) Die Existenz dieser langsamen Kanalstrahlen weist *Weth* durch ihren Kanalstrahlendopplereffekt nach. Die bewegte Intensität der Linien der Balmerserie zeigt unter den gewählten Versuchsbedingungen eine Violettverschiebung bis zu 3 ÅE, was Kanalstrahlengeschwindigkeiten bis zu 180 Volt entspricht. Dabei fehlt jedes Intensitätsminimum zwischen ruhen- und bewegter Intensität; es leuchten also auch die langsamsten Kanalstrahlen. Da aber neutrale Atome nur bei Geschwindigkeiten oberhalb von 50 Volt leuchten (*Dempster*, Phys. Rev. 2, 651, 1916), so folgt, daß die positiven Atomionen die Träger der Balmerserie sind. Dieses Ergebnis stimmt mit den Untersuchungen *Starks* an Glimmstromkanalstrahlen überein und ist ein weiterer Beweis gegen die Bohrsche Annahme, daß die Serienlinien von neutralen Atomen emittiert werden.

*Weth* bildete ferner das Lichtbüschel des positiven Spitzenstroms scharf auf den Spalt eines Spektrographen ab, wobei der Spalt der Büschelachse parallel stand. So entsprach auf den erhaltenen Spektrogrammen die Schwärzung entlang den einzelnen Spektrallinien der Intensität des Leuchtens entlang der Achse des Büschels. Der mikrophotometrisch ermittelte Schwärzungsgrad wurde als Funktion seines Anodenabstandes graphisch dargestellt. Auf den Spektrogrammen wurden das kontinuierliche Spektrum, die Balmerserie und das Bandenspektrum des Wasserstoffs erhalten. Der Vergleich der räumlichen Anordnung der Intensitätsmaxima und -minima bestätigt die Starksche Theorie des positiven Spitzenstroms. Ferner wird, wie *Stark* theoretisch vorhersagte und durch Untersuchung der positiven Schicht des Glimmstroms

experimentell nachwies (Ann. d. Phys. 52, 255, 1917), auch hier bestätigt, daß der Träger des kontinuierlichen Spektrums das Quantenpaar ist, das durch Anlagerung eines freien Elektrons an ein positives Ion entsteht.

Um weitere Aufschlüsse über die Träger der Spektren der chemischen Elemente zu erhalten, lag es nahe, den Spitzenstrom auch in anderen Gasen herzustellen. So untersuchte P. A. Schultz (Ann. d. Phys. 64, 367, 1921) spektrographisch den positiven Spitzenstrom in Sauerstoff und Stickstoff. Die Beantwortung der Frage nach den Trägern bei chemisch mehrwertigen Gasen wird dadurch schwieriger, daß neben neutralen Atomen und Molekülen ein- und mehrwertige Atomionen und ein- und mehrwertige Molekülionen als mögliche Träger in Betracht kommen können. Die eindeutige Zuordnung der Träger zu den verschiedenen Spektren desselben Elements versagt dann in vielen Fällen nach den gebräuchlichen Methoden, 1. der spektrographischen und 2. der elektromagnetischen Analyse der Kanalstrahlen. Denn 1. bleibt der Kanalstrahlendopplereffekt an Bandenlinien, wenn er vorhanden ist, so klein, daß er sich nicht auswerten läßt, und 2. liefert das einwertige Atomion dieselbe Ablenkungsparabel wie das zweiwertige Molekülion. Im positiven Spitzenstrom liegen dagegen die Emissionsgebiete der verschiedenen Spektren räumlich auseinander, so daß die Diskussion der Maxima der Schwärzungskurven über die Träger Auskunft gibt. Entsprechend der großen Anzahl der möglichen Träger sind Sauerstoff und Stickstoff sehr spektrereich. So erhielt Schultz auf den Sauerstoffspektrogrammen: Funkenlinien, Serienlinien, Dupletlinien des zweiten Bogenspektrums, erstes Bandenspektrum (fälschlicherweise oft Wasserdampfbanden genannt) und Ozonbanden; auf den Stickstoffspektrogrammen: negative Banden, positive Banden (2. und 3. Deslandressche Gruppe) und Funkenlinien. Nach den bisherigen Untersuchungen (vgl. J. Stark, Bericht über die Träger der Spektren der chemischen Elemente, Jahrb. d. Rad. u. El. 14, 139—247, 1917) haben als Träger in Sauerstoff: die Serienlinien das einwertige Atomion, die Funkenlinien das zweiwertige Atomion, das erste Bandenspektrum das neutrale Atom. Als Träger der Dupletlinien des zweiten Bogenspektrums vermutet man ebenfalls das einwertige Atomion. In Stickstoff haben als Träger: die positiven Banden das zweiatomige einwertige Molekülion, die Funkenlinien das zweiwertige Atomion. Als Träger der negativen Banden vermutet man das zweiatomige zweiwertige Molekülion. Der Vergleich der räumlichen Anordnung der Intensitätsmaxima unter Beachtung der bisherigen Kenntnisse über die Ionisierung durch Elektronenstoß und durch Kanalstrahlen (vgl. die Berichte von J. Stark, Jahrb. d. Rad. u. El. 13, 395, 1916, und 15, 329, 1918) bestätigt die bisherigen Zuordnungen und die Vermutungen über die Träger der Dupletlinien des zweiten Bogenspektrums des Sauerstoffs und der negativen Banden des Stickstoffs. Wie in den Glimmstromkanalstrahlen, so finden auch in den Spitzenstromkanalstrahlen Umladungen statt. Der Vergleich der Intensitätsmaxima in Sauerstoff zeigt Umladungen vom zweiwertigen zum einwertigen Atomion, in Stickstoff vom zweiwertigen zum einwertigen Molekülion an. Auf den erhaltenen Spektrogrammen ändert sich die Breite der Spektrallinien mit der Entfernung von der Anode. Bei Anwendung größerer Dispersion und Erhöhung des Anodenfalls durch Querschnittverringern der Strombahn wird sich voraussichtlich auch

vor der Anode des positiven Spitzenstroms eine Zerlegung der Spektrallinien durch das elektrische Feld (Starkeffekt) ähnlich wie in der ersten Kathodenschicht des Glimmstroms ergeben. P. A. Schultz.

**Eine neue Methode zur Bestimmung des Durchmessers von Gasmolekülen.** (Im wesentlichen nach R. Becker, Zeitschrift für Physik 4, 393, 1921.) Der Moleküldurchmesser ist eine der fundamentalen Konstanten der kinetischen Gastheorie. Man kann ihn bestimmen aus einer Messung der inneren Reibung unter Zuhilfenahme des Begriffs der freien Weglänge oder auch aus der Zustandsgleichung. (Über andere Methoden vgl. Gans-Weber, Repertorium der Physik, I 2, Seite 406 f.) Nach der ersten Methode (Messung der Reibung) erhält man z. B. bei Stickstoff für die mittlere freie Weglänge den Wert  $l = 9,5 \cdot 10^{-6}$  cm und daraus den Moleküldurchmesser  $\sigma$  mit der aus der Gastheorie abgeleiteten Formel

$$l = \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi} \sigma^2}$$

Hier bedeutet  $\nu$  die Anzahl der Moleküle im Kubikzentimeter. Da aber das Volumen von einem Grammolekül bei 0° C und unter Atmosphärendruck gleich 22 400 ccm ist und  $N = 6,2 \cdot 10^{23}$  die Zahl der Moleküle im Grammolekül, so wird  $\nu = \frac{N}{22400}$ . Damit erhält man aus vorstehender Formel:

$$\text{Moleküldurchmesser } \sigma_1 = 3,01 \cdot 10^{-8} \text{ cm.} \dots (1)$$

Die zweite sowie auch die neue Methode zur Bestimmung von  $\sigma$  gehen aus von der Zustandsgleichung. Eine bis zu den höchsten gemessenen Drucken (3000 at) gültige Gleichung<sup>1)</sup> ist für Stickstoff:

$$p = R T \cdot \frac{1}{v} \left( 1 + \frac{k}{v} \cdot e^{\frac{k}{v}} \right) - \left( \frac{a}{v^2} - \frac{x}{v^3 + 2} \right),$$

abgekürzt  $p = R T \cdot A(v) - D(v) \dots \dots \dots (2)$   
Man kann nach v. d. Waals und Reinganum<sup>2)</sup> aus der Konstanten  $k$  im Gliede  $A(v)$  einen Wert für  $\sigma$  ableiten. Für große Werte von  $v$  wird nämlich:

$$A(v) = \frac{1}{v} \left( 1 + \frac{k}{v} \right)$$

Ist darin  $v$  das Volumen von 1 Grammolekül, so muß nach den genannten beiden Autoren unter Annahme von harten kugelförmigen Molekülen  $k$  gleich dem vierfachen Volumen eben dieser Moleküle selbst sein. D. h.

$$k = 4 N \cdot \frac{4}{3} \pi \left( \frac{\sigma}{2} \right)^3 \dots \dots \dots (3)$$

Für  $k$  liefern die klassischen Messungen von Amagat den Wert 40,3. Damit folgt für  $\sigma$  aus (3) der Wert:

$$\sigma_{II} = 3,15 \cdot 10^{-8} \text{ cm.}$$

Eine neue und von den bisherigen völlig unabhängige Bestimmung von  $\sigma$  wird nun durch das zweite Glied:

$$D(v) = \frac{a}{v^2} - \frac{x}{v^3 + 2}$$

der Zustandsgleichung (2) ermöglicht. Für große Werte von  $v$  (geringe Dichten) geht es in den bekannten v. d. Waalsschen Wert  $\frac{a}{v^2}$  über. Dieser wird dahin gedeutet, daß der auf die Gefäßwandung ausgeübte Druck  $p$  infolge der gegenseitigen Anziehung (v. d. Waalssche Attraktion) der Moleküle um eben diesen

<sup>1)</sup> R. Becker l. c.

<sup>2)</sup> Reinganum, Ann. d. Ph. 6, 533, 1901.



Betrag geringer ist als der „Binnendruck“  $RT \cdot A(v)$ . Bei dieser Auffassung denkt man sich die Moleküle als vollkommen harte, elastische Kugeln. Nun wird aber durch die neueren Atommodelle gefordert, daß die Kugeln nicht vollkommen hart sind, sondern daß die abstoßende Kraft bei wachsender Annäherung zwar auch sehr rasch, aber doch durchaus stetig anwächst. Danach ist zu erwarten, daß bei sehr starker Kom-

pression des Gases das Anziehungsglied  $\frac{a}{v^2}$  teilweise kompensiert wird durch ein Abstoßungsglied. Bei sehr hohen Drucken (von etwa 1000 at ab) kommt nun in den Messungen ein solches Glied absolut scharf zum Ausdruck. Es läßt sich, wie in Gleichung (2) geschehen, formelmäßig darstellen, durch den Ausdruck

$\frac{x}{v^{\beta+2}}$  mit dem Exponenten  $\beta = 5$ . Es ist nun natürlich ein leichtes, aus den gemessenen Größen  $x$  und  $\beta$  rückwärts auf Größe und Art der abstoßenden Kraft zu schließen, welche bei gegenseitiger Annäherung von 2 Molekülen auftritt. Man findet, daß diese Kraft der neunzehnten Potenz des Abstandes umgekehrt proportional ist, also bei der Annäherung eines Moleküls an ein anderes zunächst verschwindend klein ist, um in einer gewissen Nähe ganz enorm steil anzusteigen. Dieser Anstieg ist tatsächlich so steil, daß die Annahme von harten Molekülen bei der obigen Ableitung von  $\sigma_{II}$  durchaus unbedenklich ist. Nachdem man auf die skizzierte Weise in den Besitz des Abstoßungsgesetzes gelangt ist, kann man leicht ausrechnen, bis zu welchem kleinsten Mittelpunktsabstand sich zwei Moleküle nähern können, welche mit der durch die kinetische Gastheorie gelieferten mittleren Geschwindig-

keit  $v_0 = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$  aufeinander zufliegen. Ist nämlich  $\frac{b}{r^n}$  das Potential der abstoßenden Kraft ( $n = 18$ ), so gibt der Energiesatz für diesen kleinsten Abstand  $r_0$  einfach:

$$\frac{b}{r_0^n} = \frac{m}{2} v_0^2$$

$r_0$  ist aber offenbar gleichbedeutend mit dem wirk- samen Moleküldurchmesser  $\sigma$ . Wegen der Steilheit des Potentialanstieges ist sein Betrag von der Temperatur nur sehr wenig abhängig. — Durchführung der Rechnung für  $0^\circ \text{C}$  und Atmosphärendruck ergab <sup>1)</sup> danach aus dem Abstoßungsgesetz:

$$\sigma_{III} = 3,18 \cdot 10^{-8} \text{ cm},$$

in ganz vorzüglicher Übereinstimmung mit den beiden ersten Werten.

Das Abstoßungsgesetz hat sich bisher nur bei Stickstoff mit einiger Sicherheit feststellen lassen. Aus den übrigen Amagatschen Messungen ließ sich nur entnehmen, daß der Exponent  $n$  des Potentials der abstoßenden Kraft bei Wasserstoff kleiner und bei Sauerstoff größer ist als bei Stickstoff. Jedoch reichen die vorliegenden Messungen zur sicheren Bestimmung noch nicht aus.

R. Becker.

**Die Lichtgeschwindigkeit in Elektronenstrahlen.** Die Geschwindigkeit eines Lichtstrahls wird beim Eintritt in einen durchsichtigen Körper vermindert. Nach der Elektronentheorie rührt dies daher, daß die elektromagnetischen Lichtwellen die Elektronen des durchsichtigen Körpers zum Mitschwingen bringen und daß sie dadurch selbst gebremst werden. Bewegt sich der durchsichtige Körper während des Lichtdurchgangs, so

bleibt nach H. A. Lorentz zwar der Äther absolut ruhend, aber die im Lichtstrahl schwingenden Elektronen machen die Fortbewegung des durchsichtigen Körpers mit. Dadurch wird die Lichtgeschwindigkeit vergrößert, und zwar um einen Bruchteil der Geschwindigkeit des bewegten Körpers. Dieser Bruchteil be-

trägt  $\frac{n^2-1}{n^2}$ , wobei  $n$  der Brechungsexponent des be-

wegten Mediums ist (Fresnelscher Mitführungskoeffizient). Dies wurde mit großer Genauigkeit von Fizeau, Michelson und Morley sowie neuerdings von Zeeman experimentell bestätigt. Wie verhält sich aber die Lichtgeschwindigkeit in einem Bündel rasch bewegter freier Elektronen, also etwa beim Durchgang durch Kathodenstrahlen? W. Wien<sup>1)</sup> berechnete im Jahre 1898, daß bei der Annahme einer gewissen Dichte des Äthers durch die Bewegung einer elektrischen Ladung eine Mitbewegung des Äthers eintreten muß. Deren Einfluß auf die Lichtbewegung ist aber unbekannt. „Über die Vorgänge in unmittelbarer Nähe der Ladung läßt sich nichts Bestimmtes aussagen.“ Wien hat dann das Problem experimentell untersucht. Mit dem Jaminschen Interferentialrefraktometer wurde der Versuch gemacht, ob ein durch eine Vakuumröhre gehender Lichtstrahl durch die Kathodenstrahlen beschleunigt wird; das Ergebnis war aber durchaus negativ. Dagegen hatte eine Untersuchung von E. Bodesohn<sup>2)</sup> im Jahre 1913 ein positives Ergebnis. Bodesohn ließ die beiden Lichtbündel zwischen den sehr dicken Glasplatten eines Jaminschen Interferentialrefraktometers durch zwei je 75 cm lange Kathodenstrahlröhren laufen. Die Kathodenstrahlen bewegten sich in der einen Röhre mit dem Licht, in der anderen gegen dasselbe. Die angewandte Spannung betrug 12 500 bis 35 000 Volt und die Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen schwankte zwischen  $0,68 \cdot 10^{10}$  und  $1,14 \cdot 10^{10}$  cm in der Sekunde. Durch die Verschiebung der Interferenzstreifen wurde ein Einfluß der Kathodenstrahlen auf die Lichtgeschwindigkeit festgestellt. Die Lichtgeschwindigkeit ergab sich proportional der Quadratwurzel aus der Spannung oder direkt proportional der Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen. Die Fehlerquellen, welche Druck und Temperatur darstellen, wurden nach Möglichkeit vermieden; nicht berücksichtigt wurde aber die mechanische Deformation der langen Glasröhren infolge der elektrostatischen Anziehung von Anode und Kathode. Daher ist das Ergebnis noch nicht völlig einwandfrei, wenn auch die gefundene Proportionalität der Lichtgeschwindigkeit mit der Schnelligkeit der Kathodenstrahlen auffällig ist. Neuerdings versuchte R. Whiddington<sup>3)</sup> den Mitführungskoeffizienten des Lichts anstatt in einem Strom fließenden Wassers in einem Strom von rasch bewegten freien Elektronen zu bestimmen. Die benutzten Kathodenstrahlen hatten  $4 \cdot 10^9$  und  $2 \cdot 10^{10}$  cm Geschwindigkeit in der Sekunde. Es ließ sich aber nicht der geringste Einfluß auf die Lichtgeschwindigkeit feststellen. Die Versuchsergebnisse von W. Wien und R. Whiddington stehen also den positiven von E. Bodesohn gegenüber. Da die bisher vorhandenen Theorien den Vorgang der Lichtbewegung in Elektronenstrahlen noch nicht darzustellen erlauben, so sind weitere experimentelle Untersuchungen abzuwarten.

K. Kuhn.

<sup>1)</sup> Beilage zu Wiedemanns Annalen, Bd. 65 (1898).

<sup>2)</sup> Einfluß der Kathodenstrahlen auf die Lichtbewegung, Dissertation, Halle 1913.

<sup>3)</sup> Nature S. 708/9, Nr. 2649 (1920).

<sup>1)</sup> R. Becker, l. c., S. 407.

**Eine neue Methode der Röntgenstrahlenerzeugung.** Die klassische Methode der Röntgenstrahlenerzeugung besteht darin, daß an ein auf etwa  $\frac{1}{1000}$  mm Quecksilber evakuiertes Glasgefäß mit 2 Metallelektroden Hochspannung angelegt wird. Der Gasrest wird ionisiert, die auf die Kathode auflaufenden positiven Ionen setzen dort Elektronen in Freiheit, welche vom elektrischen Feld beschleunigt beim Auftreffen auf die Antikathode zur Entstehung von Röntgenstrahlen Anlaß geben. Bei einer anderen vor einigen Jahren in die Technik eingeführten Methode werden die Röhren soweit evakuiert, daß beim Anlegen der Hochspannung kein Stromdurchgang einsetzt. Dieser wird künstlich dadurch eingeleitet, daß die Kathode (als Glühdraht ausgebildet) auf hohe Temperaturen erhitzt und zur Aussendung von Elektronen veranlaßt wird. Zu diesen beiden bekannten Methoden tritt nun eine neue, von *Lilienfeld*<sup>1)</sup> angegebene hinzu: Gibt man der Kathode die Gestalt einer Spitze oder Schneide und nähert man die beiden Elektroden einander bis auf einige Millimeter, so gelingt es ohne weiteres, im Hochvakuum einen Stromdurchgang, verbunden mit Elektronenemission und Röntgenstrahlenerregung, zu erhalten. Bei weiterer technischer Durchbildung verspricht diese Methode eine sehr einfache und leistungsfähige Röntgenröhre zu liefern. Eine befriedigende theoretische Erklärung des Emissionsvorganges konnte bisher noch nicht gefunden werden und bedarf noch weiterer experimenteller Unterlagen. *Glocker.*

## Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

**Der Kruppsche nichtrostende Stahl V 2 A**<sup>2)</sup> findet unter anderem auch in medizinischen Kreisen immer steigende Beachtung (*Heßberg*, Zeitschr. für ophthalmologische Optik 9, 176, 1921; *Fr. Feistkorn*, Goldersatz, Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde 39, 581, 1921; auch letztgenannte Zeitschrift 39, 612, 1921). Die seinerzeit an den Stahl geknüpften Hoffnungen scheinen sich in vollem Umfange zu erfüllen. Als Material für medizinische Instrumente bewährt er sich außerordentlich dank seiner Korrosionsfreiheit, die ein viel sichereres Desinfizieren der Geräte sogar mit stark ätzenden Flüssigkeiten und ohne die Notwendigkeit einer mechanischen Reinigung der stets blank bleibenden Oberfläche gestattet, sowie dank seiner hohen Festigkeit, die im Zusammenhang mit der Korrosionsfreiheit eine weit geringere Abnutzung der schneidenden Flächen den üblichen Materialien gegenüber ergibt. Dieselben Eigenschaften gestatten seine Verwendung in der Mundhöhle zu den verschiedensten Zwecken, z. B. für Gebißplatten, zu denen er sich prägen läßt. Auf Grund ausgedehnter Versuche wird der Stahl V 2 A in zahntechnischer und hygienischer Beziehung als ein den Edelmetallen Gold und Platin nahezu gleichwertiges Material angesehen.

Gewisse Schwierigkeiten macht vorläufig noch die Verarbeitung des Stahles V 2 A; bei Krupp wird noch an der Vervollkommenung der Verarbeitungsmethoden gearbeitet. Wie weit man jedoch auch in dieser Hinsicht schon ist, zeigt die oben erwähnte Möglichkeit, aus V 2 A Gebißplatten (von 0,15 mm Stärke) zu prägen. Der Stahl V 2 A läßt sich elektrisch schweißen,

läßt sich weich löten (das Hartlöten macht noch Schwierigkeiten), und auch in Porzellanmasse einbrennen, ohne dieselbe zu verfärben oder Sprünge hervorzurufen.

Die bemerkenswerten Eigenschaften des Stahles V 2 A lassen erwarten, daß es kaum ein Gebiet der Technik geben wird, für das er nicht eine größere Bedeutung erlangen dürfte.

**Der Damascener Stahl.** Jedem Liebhaber sind die schönen Zeichnungen auf den sogenannten Damascener Stahlklingen bekannt. Weniger bekannt dürfte es sein, daß der Damascener Stahl ganz hervorragende technische Eigenschaften, eine große Härte verbunden mit großer Zähigkeit besitzt, die bis zu einem gewissen Grade mit dem Charakter der Zeichnungen zusammenhängen, so daß in den Augen eines Kenners die Zeichnung ein Maßstab für die Qualität des Stahles sein kann. Der Damascener Stahl enthält etwa 1,5 % Kohlenstoff, es ist also ein sehr hoch gekohlter Stahl; die modernen Stähle von derselben Zusammensetzung sind zwar auch hart, aber sehr spröde, und es erschien lange Zeit rätselhaft, wie es technisch möglich ist und der Kunst der Orientalen gelingen konnte, die Eigenschaften des Stahles so weitgehend zu verbessern.

Der Damascener Stahl widerspricht nicht nur in der oben angegebenen Beziehung unseren heutigen technischen Erfahrungen. Der erste Grundsatz der heutigen Stahltechnik ist, grobe und „schöne“ Strukturen zu vermeiden, weil durch diese der Stahl brüchig wird. Der Damascener Stahl hat nun eine eminent grobe und schöne Struktur, und ist doch bei weitem zäher, als ein gewöhnlicher Stahl von derselben Zusammensetzung. — Über die Art der Herstellung des Damascener Stahls war nur bekannt, daß er zu zahlreichen Malen mit der größten Vorsicht heiß umgeschmiedet und gehämmert wurde.

Durch die metallographischen Untersuchungen von *Belajeff*<sup>1)</sup> scheint das Problem dieses Stahles nun seiner Lösung nahegebracht zu sein. Die mikroskopische Untersuchung hat nämlich gezeigt, daß der Cementit  $\text{Fe}_3\text{C}$ , der in diesem Stahl in einer Menge von etwa 22 % vorhanden ist, nicht seine charakteristischen Nadel- bzw. Blätterformen aufweist, sondern in Gestalt von abgerundeten, noch kaum gelängten Teilchen vorliegt. Der Cementit ist spröde und verursacht, wenn er in größeren Blättern vorliegt, leicht einen Bruch des Stahles längs der Cementitlamellen. Diese Gefahr ist offensichtlich an die große Ausdehnung der einzelnen, sehr dünnen Lamellen geknüpft, die dann Schwächegebiete im Stahl erzeugen. Sobald ein Aggregat des Cementits jedoch die runde Gestalt angenommen hat, sind seine linearen Ausdehnungen seiner Masse gegenüber sehr viel kleiner, und die Gefahr der Sprödigkeit kann als weitgehend beseitigt gelten.

Wenn so die Wirkung der veränderten Form der Cementitteilchen verständlich ist, so fragt es sich, wie es gelingt, den in Blättern (Platten) kristallisierenden Cementit in diese Form zu bringen? Durch das vorsichtige Kneten (Schmieden und Hämmern) bei hoher Temperatur werden die Cementitplatten immer weitergehend zertrümmert. Gleichzeitig beginnt in der Glühhitze der bekannte Prozeß des Einformens, der, wie allgemein bekannt, zur Vergrößerung der Strukturbestandteile führt. Dieser Prozeß führt dazu, daß die

<sup>1)</sup> Sächsisches Akademieberichte, Bd. 72, 31, 1921. Verhandl. d. D. Physikal. Ges. 25. Febr. 1921.

<sup>2)</sup> *Strauß*, Naturwissenschaften 8, 812, 1920.

<sup>1)</sup> *Belajew*, Herbsttagung 1921 des Iron and Steel Institute in Paris; Engineering 9. 9. 1921, Bd. CXII, Nr. 2906.



fein verteilten Cementitbrocken sich zu größeren Klumpen vereinigen, die hierbei nicht mehr die charakteristische Form der Cementitplatten, sondern die von rundlichen Gebilden annehmen.

Es besteht ein interessanter Parallelismus zwischen dem Damascener Stahl und dem wolframhaltigen Schnelldrehstahl. Bei der Herstellung des letzteren wird der Rohstahl erst stark warmgerekkt, wobei die in ihm enthaltenen Carbideplatten usw. zerstört werden, dann erhitzt, wobei ein Einformen der Bestandteile stattfindet, und zum Schluß abgeschreckt, wobei die Grundmasse martensitische Eigenschaften erhält. Ein brauchbarer Schnelldrehstahl muß auch die spröden Bestandteile — Carbide usw. — in gleichmäßiger Verteilung und in *abgerundeter Gestalt* enthalten.

**Entschwefelung des Gußeisens nach dem Verfahren von Walther.** Ein größerer, etwa 0,1 % übersteigender Gehalt des Gußeisens an Schwefel schädigt seine mechanischen Eigenschaften und vor allen Dingen seine Verarbeitbarkeit. Deshalb muß der Schwefelgehalt der Fertigerzeugnisse aus Gußeisen möglichst gering sein. Die bisherigen Möglichkeiten, den Schwefel aus dem Gußeisen zu beseitigen, waren recht beschränkt. Sie bestanden einerseits in der Wirkung des Mangans, das mit dem Schwefel sehr beständige Sulfide bildet, die aus dem Schmelzfluß allmählich herausseigern, und andererseits in der Wirkung einer basischen Ausfütterung des Schmelzgefäßes und der Wirkung basischer Schlackenzuschläge, die die Oxydation des Schwefels fördern und denselben in Form von  $\text{SO}_2$  oder  $\text{SO}_3$  aufnehmen. Die Wirkung beider Mittel ist nur unvollkommen, und man war deshalb in der Hauptsache darauf angewiesen, zu schwefelarmen Ausgangsmaterialien, also Erzen und Koks sowie anderen Brennstoffen, die auch zu einer S-Aufnahme durch das Eisen führen können, von hoher Qualität zu greifen. Der Krieg und seine Folgen haben uns teils der hochwertigen Ausgangsstoffe und Kohlen beraubt, teils die Unkosten ihrer Beschaffung außerordentlich erhöht. Man war deshalb darauf angewiesen, zu minderwertigen schwefelhaltigen Ausgangsstoffen zu greifen, und die Folge davon war eine Verseuchung des Gußeisens mit Schwefel, die sich zu einer großen Kalamität auswuchs.

Wenn auch in geringerem Maße, bestehen dieselben Schwierigkeiten auch im Auslande, so daß das technische Interesse an der Entschwefelung des Gußeisens überall ein recht großes ist.

Es ist nun dem deutschen Erfinder Walther gelungen, dieses Problem recht befriedigend zu lösen, und etwa seit Jahresfrist werden in den deutschen Gießereien Entschwefelungsversuche in größtem Stile gemacht, die bereits an vielen Stellen zur Aufnahme des Verfahrens in den regulären Betrieb geführt haben.

Über Betriebserfahrungen der Gußeisenschwefelung sprach im Verein Deutscher Gießereifachleute am 18. Dezember 1921 Oberingenieur Scharlibbe; an seinen Vortrag schloß sich eine lebhafte Diskussion an, aus der man ersehen konnte, wie groß das Interesse der Gießertechnik an dem Problem der Entschwefelung ist.

Das Verfahren von Walther besteht darin, daß das Gußeisen im flüssigen Zustande mit einem hochbasischen Entschwefelungspräparat versetzt wird, das aus Alkalien und alkalischen Erden besteht. Nötigenfalls wird das Präparat mit dem Gußeisen verrührt.

Es findet eine in ihren Einzelheiten noch anscheinend wenig aufgeklärte lebhafte Reaktion statt, bei der dem Bade 40—70 % seines Schwefelgehaltes entzogen werden, während sein Kohlenstoff- und Siliziumgehalt nicht nennenswert verändert wird. Die Entschwefelung ist desto weitgehender, je höher die Temperatur der Einwirkung (bis etwa 1450 °) und je länger die Einwirkung des Entschwefelungsmittels (praktisch etwa 7—15 Minuten) ist. Nach erfolgter Reaktion wird der Zusatz als Schlacke abgezogen und das Vergießen kann stattfinden.

Die Einführung des Verfahrens erfordert nur recht geringe technische Mittel resp. Veränderungen im Betriebe einer Gießerei. Der Guß verteuert sich etwa um 1½ %, was der Ersparnis durch geringeren Ausschuß sowie durch die Möglichkeit der Verwendung billigeren Ausgangsmaterials gegenüber gar keine Rolle spielt.

Es ist nicht zu bezweifeln, daß das Verfahren von Walther die allergrößte technische Bedeutung erlangen kann und voraussichtlich erlangen wird. *Masing.*

**Entfernt sich Grönland von Europa?** Nach der in letzter Zeit so außerordentlich diskutierten Wegenerschen Theorie der Entstehung der Kontinente und Ozeane haben ursprünglich Europa-Afrika und Amerika zusammengehungen (vgl. diese Zeitschrift 1921, S. 241 bis 250). Die jetzige Gestalt und Lage der Kontinente hat sich dadurch herausgebildet, daß Amerika sich von der europäisch-afrikanischen Landmasse getrennt hat und allmählich nach Westen gewandert ist. Diese Bewegung soll auch heute noch andauern. Außer Überlegungen geologischer und geophysikalischer Art führt Wegener genaue Ortsbestimmungen in Grönland aus den Jahren 1823, 1870 und 1907 an, welche zeigen, daß im Zeitraum 1823—1870 eine Verschiebung Grönlands um 420 m nach Westen erfolgt ist und von 1870 bis 1907 eine solche von 1190 m. Dies wurde als exakter Beweis dafür angeführt, daß die Bewegung Grönlands noch bis in die allerjüngste Zeit angedauert hat.

Gegen diese Beweisführung haben sich mehrfach Stimmen erhoben, so v. Drygalski auf dem Leipziger Geographentag, A. Penck (Zeitschrift der Gesellschaft f. Erdkunde 1921, S. 116 f.). Nun hat jüngst Fr. Burmeister die aus Grönland vorliegenden Positionsbestimmungen einer genaueren Prüfung unterzogen (Petersmanns Geogr. Mitteilungen 1921, S. 225 ff.). Er kommt zu dem Ergebnis, daß sowohl die 1907 von Koch-Wegener erfolgten, wie die 1870 von Börgen durchgeführten Bestimmungen nicht die für die weittragenden Schlüsse erforderliche Genauigkeit haben. Die Beobachtungen von Sabine aus dem Jahre 1823 endlich scheiden ganz für die Beweisführung aus, da die Lage des Ortes, an dem damals die Messungen ausgeführt sind, nicht einwandfrei festgestellt werden kann und damit natürlich die Möglichkeit des Vergleiches mit späteren Messungen entfällt. Hiernach ist wohl vorläufig der Beweis, daß Grönland sich von Europa entfernt, als nicht einwandfrei erbracht anzusehen. Dies spricht nicht gegen die Wegenersche Theorie, ist aber ein Anreiz, die Prüfung der Wegenerschen Ansichten möglichst bald unter Anwendung modernster Methoden der Ortsbestimmung durchzuführen.

*Bruno Schulz.*

**Schallortung.** Die Bedeutung der Funkentelegraphie für die Ortung, d. h. Bestimmung des Standortes eines Beobachters, die namentlich in der Navigation, sowohl

auf See wie in der Luft Anwendung findet, hat *H. Maurer* kürzlich dargelegt<sup>1)</sup>. Der große Vorteil derartiger Methoden liegt in der Sicherung der Schifffahrt bei Nebel. Eine weitere Ausgestaltung der Ortungsmethoden, die namentlich in der Nähe der Küste verwendbar ist und das Durchfahren schwieriger Küstengewässer sowie das Ansteuern von Häfen erleichtert, erfolgte neuerdings durch die Einführung akustischer Hilfsmittel, die folgendermaßen betätigt werden.

Das Schiff teilt auf funkentelegraphischem Wege einer Landstation seinen Wunsch nach Ortung mit. Dann ergeht vom Lande aus die Aufforderung, auf dem Schiffe ein Schallsignal abzugeben, das von mindestens drei Landstationen mittels Spezial-Mikrophonen aufgenommen wird, die durch Leitungen mit einem Oszillographen in Verbindung stehen. Dieser Apparat markiert automatisch auf einem Filmstreifen die Unterschiede der Zeiten, die der Schall vom Schiffe bis zu den verschiedenen Mikrophonen braucht. Die Zeitunterschiede werden auf Hundertstel Sekunden genau abgelesen, die Einflüsse von Wind und Temperatur nach vorliegenden Tabellen als Korrekturen angebracht, und dann der Schiffsort unmittelbar aus einer Seekarte abgelesen, auf der die Linien gleichen Schallzeitunterschiedes eingezeichnet sind. Das Resultat wird dann dem Schiffe funkentelegraphisch mitgeteilt.

Nach einer von nautischer Seite erfolgten Mitteilung<sup>2)</sup> hat das Verfahren am 5. Oktober 1921 vor Vertretern der deutschen Seeschifffahrt und der Presse seine Probe bestanden. Die Ortung eines 4 Seemeilen (7400 m) entfernten Punktes erfolgte in etwa 5 Minuten mit einer Genauigkeit von 30 m. Das Verfahren zeichnet sich besonders durch seine Billigkeit aus, weil ein Registrierapparat, der für eine Küstendrecke von 50 km Länge ausreicht, nur zwei Mann zu seiner Bedienung braucht. *O. B.*

Die photographische Messung der Meereswellen. Außer durch Schätzung der Wellenhöhe und der barometrischen Messung (vgl. diese Zeitschrift 1921 S. 270) hat man auch seit 1903 auf Vorschlag von *E. Köhl-schütter* die Stereophotogrammetrie zur Lösung des Wellenproblems herangezogen. Auf Fahrten des Vermessungsschiffes „Hyäne“ im Kieler Hafen im Jahre 1904, auf einer Reise von *W. Laas* auf der „Preußen“ nach Chile (1904) und auf der Forschungsreise S. M. S. „Planet“ 1906/07 wurden erfolgreiche Versuche mit dieser Methode gemacht, die zeigten, daß auf stereophotogrammetrischem Wege nicht nur die Höhe, sondern auch die Form der Meereswellen der Untersuchung zugänglich wurde, ja daß durch eine gelungene Aufnahme das Bild der Meeresoberfläche des Meßgebietes in jeder gewünschten Genauigkeit maßstäblich dargestellt werden kann. Kurz vor dem Kriege war geplant, diese Untersuchungen in großem Maßstabe auf Fahrten von Passagierdampfern vorzunehmen, Geldmittel waren beschafft und auch die Unterstützung der Reedereien war gesichert. Da die Wiederaufnahme derartiger Arbeiten

bis auf weiteres aussichtslos erscheint, hat *Walter Laas* den vor dem Kriege erreichten Stand der Forschung als Unterlage für eine spätere Fortführung dargestellt (Veröff. des Instituts f. Meeresforschung N. F. A. Geogr.-naturw. Reihe Heft 7).

*Bruno Schulz.*

Um den Zeitgenossen die Entwicklung des Lokomotivbaues praktisch vor Augen zu führen, wurde im Sommer 1921 die erste im Staate New York in Dienst gestellte Lokomotive „De Witt Clinton“ wieder auf Schienen gesetzt. Sie zog ihren ehemaligen Originalzug, bestehend aus drei altmodischen Kutschen in Gegenwart von Tausenden von Zuschauern von der 96. bis zur 116. Straße in New York. Einschließlich der Sitze auf dem Dache faßte jeder Wagen neun Personen. Die männlichen und weiblichen Fahrgäste trugen die Tracht von 1831 und die Lokomotive entwickelte die gleiche Geschwindigkeit als vor 90 Jahren, indem sie die Entfernung von 1,6 km in neun Minuten, also 10½ km in einer Stunde, zurücklegte. Eine neuzeitliche Mogullokomotive von 1916, die etwas länger war als der ganze Zug von anno dazumal, lief auf einem Nebengleis.

Das Flüssigkeitsübersetzungsgetriebe von *Lentz*, dem bekannten Erfinder der Lentzsteuerung für Dampfmaschinen, ist im Automobilbau bereits seit 10 Jahren in Anwendung. Nachdem seine Weiterentwicklung, wie so vieles andere, durch den Krieg gehemmt war, ist die Verfolgung des Gedankens nunmehr wieder kräftig aufgenommen worden. Das Getriebe bezweckt die verschiedene Übersetzung und die Umkehrung des Laufes von Verbrennungsmotoren und anderen rotierenden Kraftmaschinen auf eine anzutreibende Achse oder Welle. Bekanntlich muß z. B. der Dieselmotor stets mit gleicher Drehzahl laufen und seine Umsteuerung ist äußerst umständlich. Er konnte deshalb bisher weder im Kraftwagen- noch im Lokomotivbau Fuß fassen. Das Lentzgetriebe gestattet nun zudem noch, zwei einander senkrecht kreuzende Wellen zu kuppeln und eignet sich daher besonders für das erwähnte Anwendungsgebiet. Es besteht aus zwei Kapselgetrieben, wobei eines als ein- oder mehrstufige Pumpe, das andere als Triebwerk dient. Das Triebwerk kann bei genau gleichbleibendem Lauf der Pumpe mit verschiedenen Geschwindigkeiten oder auch rückwärts angetrieben werden. Die Übertragungsflüssigkeit ist ein schmierfähiges Teer- oder Mineralöl, das sich im Betriebe um rd. 25 Grad erwärmt. Zu Anfang des Jahres 1922 wird auf einer elektrisch betriebenen Strecke der schlesischen Gebirgsbahn ein 200 PS benzolelektrischer Triebwagen mit der Lentzkupplung in Verbindung mit einem Induktionsmotor für Einwellenwechselstrom in Betrieb kommen. Die Grazer Waggon- und Maschinenfabrik baut ebenfalls eine solche Kupplung für 200 PS zu einer Diesellokomotive und eine für 600 PS zu einem Donauschlepper mit Dieselmotor. Man darf auf die Versuche, das Lentzgetriebe für große Leistungen zu verwenden, gespannt sein. Hält es, was es in kleinen Ausführungen verspricht, so wäre damit eine sehr wertvolle und folgenreiche Erfindung gemacht.

*L. Schneider.*

<sup>1)</sup> Die Naturwissenschaften, Berlin, 1921, Jahrg. 9, Heft 22, S. 432—433.

<sup>2)</sup> Hansa, Hamburg, 1921, Jahrg. 58, Heft 41, S. 1170.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von

**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 8. (Seite 169--192)

24. Februar 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Die Aerodynamische Versuchsanstalt und ihre Bedeutung für die Technik. Von **L. Prandtl**, Göttingen. (Mit 9 Abbildungen.) S. 169.

Über die Vorgänge bei der Lederbereitung. Von **E. Stiasny**, Darmstadt. S. 175.

Emil Selenka. (Ein Gedenkblatt zur achtzigsten Wiederkehr seines Geburtstages am 27. Februar.) Von **W. Lubosch**, Würzburg. S. 179.

Erziehung der Zwergbäume. Von **P. Graebner**, Berlin-Dahlem. S. 181.

Neues vom Kuckuck. Von **Fritz Braun**, Danzig. S. 183.

Besprechungen:

Pauli jun., W., Relativitätstheorie. Von **A. Einstein**, Berlin. S. 184.

v. Laue, M., Die Relativitätstheorie. 2. Bd. Von **Max Born**, Göttingen. S. 185.

Thirring, Hans, Die Idee der Relativitätstheorie. Von **A. Kopff**, Heidelberg. S. 185.

Deutsche Meteorologische Gesellschaft. (Berliner Zweigverein):

Pyrometrische Messungen der Himmelsheelligkeit. S. 186.

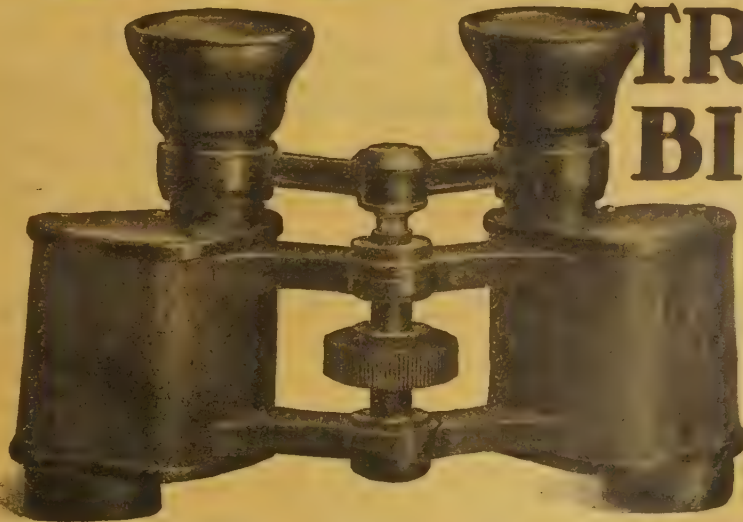
Botanische Mitteilungen: S. 187--188.

Zur Entwicklungsgeschichte der Gattungen Chromatium und Spirillum. Licht- und Dunkeladaptation bei *Phycomyces nitens*.

Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften 1921: S. 188--192.

# GOERZ

## TRIËDER BINOCLE



für

Reise, Sport, Jagd.

Zu beziehen durch die optischen  
Geschäfte.

Man verlange reich illustrierten  
Katalog.

Optische Anstalt C. P. Goerz Aktien-Gesellschaft, Berlin - Friedenau 45

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 40,— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 4.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6550-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto: Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C  
Postscheck- für Anzeigen- u. Beilagenbeträge: Berlin Nr. 118935 Julius Springer,  
Konten: für alle übrigen Zahlungen: Berlin Nr. 11100 Julius Springer.

## Große chemische Fabrik Mitteldeutschlands

sucht für ihre

## wissenschaftliche Abteilung für Schädlingsbekämpfung

## einen jüngeren Akademiker

Bedingung:

**Spezialstudium in Entomologie und gründliche botanische Kenntnisse**

Bewerbungsschreiben unter **NW 276** an die Expedition dieser Zeitschrift erbeten.

(276)

### Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

**J. D. Möller, Wedel in Holstein.**  
Gegründet 1864. (250)

### Naturwissenschaften

Jg. 1913—1921 cpl. und einzelne Jahrgänge

**Kauf**

(727)

**Waither Brinkmann, Leipzig-Schönefeld.**

**Verlag von Julius Springer in Berlin W 9**

### Untersuchungen über Depside und Gerbstoffe.

(1908—1919.) Von Emil Fischer. (VI, 541 S.) 1919.

Preis M. 36.—

### Die Chemie der natürlichen Gerbstoffe.

Von Prof. Dr. Karl Freudenberg, Privatdozent an der Universität Kiel. (VIII, 161 S.) 1920. Preis M. 22.—

Hierzu Teuerungszuschläge.



## Die Aerodynamische Versuchsanstalt und ihre Bedeutung für die Technik<sup>1)</sup>.

Von L. Prandtl, Göttingen.

Die Aerodynamik, die Strömungslehre luftförmiger Massen, war noch zu meiner Studienzeit im Lehrgang der technischen Hochschule etwas völlig Unbekanntes; einige wenige Angaben über den Winddruck auf Bauwerke und über den Luftwiderstand von Eisenbahnzügen, das war alles, was wir auf diesem Gebiete erfuhren. Wenn es heute anders ist, so hat den Löwenanteil daran die Luftfahrttechnik, der gesicherte Kenntnisse in der Aerodynamik eine Lebensnotwendigkeit waren. Sie führte diesem Gebiet, das bis dahin fast nur von Amateuren bearbeitet worden war, wissenschaftlich und technisch geschulte Kräfte, und vor allem auch reichliche Mittel zu, und man kann heute ohne Übertreibung sagen, daß durch die Arbeit der letzten 15 Jahre ein wohlbegründetes und auch in den Einzelheiten wohlausgebautes Lehrgebäude vorliegt, durch das der Luftfahrttechnik sichere Grundlagen für ihre Berechnungen geschaffen sind. Besonders bemerkenswert ist an diesem Lehrgebäude die innige Durchdringung von Theorie und Versuchserfahrung, um die mancher ältere Zweig der Technik die Luftfahrttechnik beneiden könnte<sup>2)</sup>. In den Einzelheiten wird es natürlich noch weiterhin viel zu tun geben: Jede neuartige Flugzeugkonstruktion wird auch neue aerodynamische Aufgaben stellen, und auch sonst harren viele feinere Fragen noch der Lösung.

An der Entwicklung der Aerodynamik haben die meisten der großen Kulturländer ihren Anteil, Deutschland mit in der ersten Reihe. Hier war es zuerst die Motor-Luftschiff-Studien-Gesellschaft<sup>3)</sup> (gegründet von *Althoff* und *Rathenau* Vater), die — neben eigenen Versuchen, die Herr *v. Parseval* leitete — die erste Göttinger Versuchsanlage errichtete. Die Anregung hierzu stammt von dem spiritus rector der Göttinger Mathematik und Physik, *Felix Klein*<sup>4)</sup>. Entwurf und später die Leitung waren mir übertragen. Diese 1921—08 erbaute Anstalt war von vornherein nur als Provisorium gedacht, hat aber

dann doch bis 1918 in Betrieb gestanden und hat bis zuletzt nützliche Arbeit geleistet.

Auf Grund der mit dieser Anstalt gemachten Erfahrungen ging ich, wieder auf Anregung von *Klein*, bereits 1911 daran, den Plan für ein wesentlich umfassenderes Forschungsinstitut auszuarbeiten, das über die flugtechnischen Dinge hinaus dem Gesamtgebiet der Strömungslehre gewidmet werden sollte. In diesen Plänen fand ich kräftige Unterstützung durch Herrn *v. Böttlinger*, der in der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft lebhaft dafür eintrat, daß das von mir geplante Institut als Kaiser-Wilhelm-Institut ausgeführt werden sollte. Zu den Kosten sollte der preussische Staat mit beitragen, wofür die Unterstützung des Kultusministeriums bereits gewonnen war. Die Verhandlungen zogen sich aber hin; als dann 1914 der Krieg ausbrach, mußte man den Plan zunächst fallen lassen. Jedoch zeigte sich bereits 1915, daß die Kriegsbehörden sich für die Sache interessierten, und so kam es dazu, daß derjenige Teil des geplanten Forschungsinstituts, der mit der Luftfahrt zusammenhing, zur Ausführung kam, und zwar in wesentlich größeren Ausmaßen und wesentlich reicherer Ausstattung als dieses je vorher geplant war. Die kleine Anlage von 1907, die in einem anderen Stadtteil lag, wurde 1918 abgerissen und in verbesserter Form neben dem neuen Hauptbau wieder aufgeführt. Die Anstalt beschäftigte damals eine Belegschaft von 50 Köpfen, die freilich seitdem unter der Einwirkung der äußeren Verhältnisse stark verkleinert werden mußte. Zurzeit sind es 15, nämlich außer dem Direktor 2 Ingenieure, 4 technische und 2 kaufmännische Hilfskräfte, 4 Handwerker, 1 Helfer und 1 Bote.

Um die Art der Arbeiten der Anstalt verständlich zu machen, muß ich kurz das Wichtigste über ihre *Einrichtungen* sagen. Die Hauptaufgabe der Anstalt ist das Studium des Luftwiderstandes, besonders die Messung der auftretenden Kräfte. Statt die zu untersuchenden Körper in einem ruhenden Luftraume zu bewegen, ist es vorteilhafter, Luft gegen ruhende Körper zu blasen; jedoch sind dabei besondere Vorsichtsmaßregeln zu treffen, damit die Luft ganz gleichförmig und geradlinig gegen den Körper herangeführt wird, da sonst keine genauen Ergebnisse erwartet werden können. Da nun die Luft, die aus einem Gebläse kommt, ähnlich durcheinander wirbelt wie das Wasser, das aus einem Mühlrade herauskommt, so bedarf es besonderer Einrichtungen, um einen solchen gleich-

<sup>1)</sup> Vortrag vor der Hauptversammlung der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft am 6. Dezember 1921.

<sup>2)</sup> Vgl. etwa *Prandtl*, Die neueren Fortschritte der flugtechnischen Strömungslehre, Z. d. Ver. deutsch. Ing. 1921, S. 959.

<sup>3)</sup> Vgl. Jahrbuch d. Motorluftschiffstudiengesellsch. 1906/7 u. f.

<sup>4)</sup> Vgl. Naturwissenschaften 1919, S. 307 („Klein-Heft“).

förmigen Luftstrom zu erzeugen. Die hierfür in den verschiedenen Versuchsanstalten angewandten Mittel sind sehr mannigfaltig, aber auch von verschiedener Wirksamkeit. Wir glauben mit unserer neuen Anlage hierin das Beste erreicht zu haben, was bisher überhaupt erreicht worden ist. Die Luftführung ist aus Fig. 1 zu erkennen. Die Luft wird von einer großen Luftschaube in Bewegung gesetzt; sie wird von dort aus, viermal um einen rechten Winkel umgelenkt, unter allmählicher Erweiterung ihres Querschnittes zu einer weiten Druckkammer geführt, wo sie noch einen „Gleichrichter“, d. h. ein System von engen parallelen Kanälen zu passieren hat. Von der Druckkammer, die bei der großen Anlage in Göttingen einen Querschnitt von 20 qm hat, gelangt sie unter Verengung des Querschnittes auf

liebige kleinere Windstärke bis zu einem nicht mehr fühlbaren Hauch von 1 m/sec herunter einzustellen, und eine völlig selbsttätige Einrichtung sorgt dafür, daß eine einmal eingestellte Windstärke entgegen den vom Elektrizitätswerk kommenden Stromschwankungen dauernd konstant bleibt.

Die Kürze der Zeit verbietet mir, auf die Meßeinrichtungen im einzelnen näher einzugehen. Diese sind ja auch in der Literatur mehrfach beschrieben worden<sup>5)</sup>. Es mag hier nur zum Verständnis des Folgenden gesagt werden, daß unsere Versuche hauptsächlich in der Weise vorgenommen werden, daß der zu untersuchende Gegenstand an feinen Drähten unbeweglich aufgehängt wird, wobei die Drähte an Waghebeln angreifen. Die Ablesewagen werden einmal ohne Wind zum

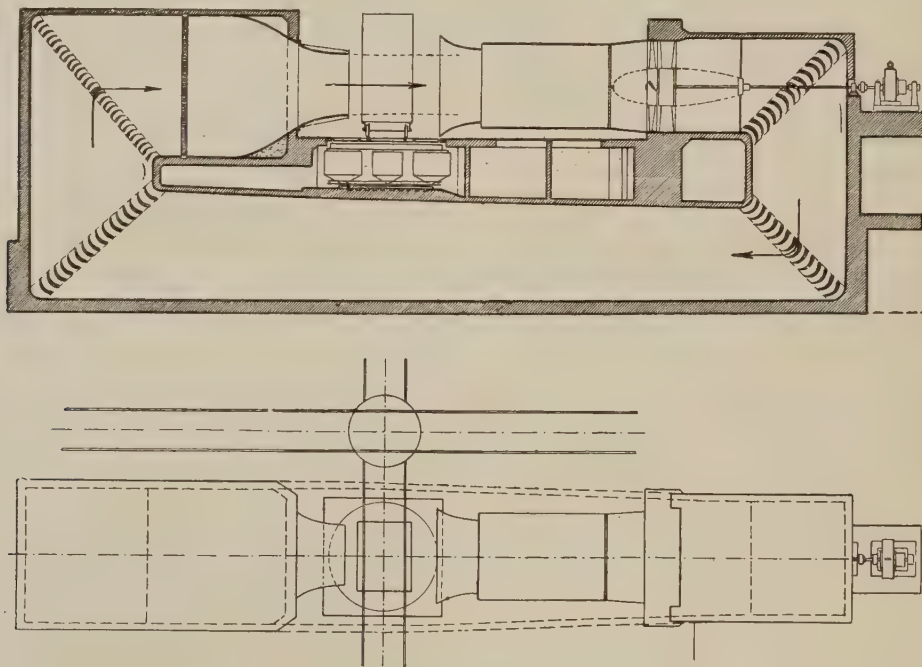


Fig. 1. Einrichtung, um einen gleichförmigen (wirbelfreien) Luftstrom zu erzeugen.

4 qm in die „Düse“, ein abgerundetes Mundstück, wobei der Druck sich in Geschwindigkeit umsetzt; in dem sich hier ausbildenden Druckabfall erhält jedes Luftteilchen, das ihn durchheilt, die gleiche Energie zugemessen. Die Luft fließt nun als freier Strom quer über den Versuchsplatz, um gleich dahinter wieder aufgefangen und dem Gebläse wieder zugeführt zu werden. Dadurch wird nicht nur ein sonst unerträglicher Zugwind in der Halle vermieden, sondern auch die Energie des Luftstroms, die sonst verloren wäre, für die Aufrechterhaltung des Strömungszustandes nutzbar gemacht. Wir können in der großen Anlage mit 300 PS bis zu 52 m/sec Geschwindigkeit in einem Querschnitt von 4 qm machen, wobei erwähnt werden mag, daß man eine Windstärke von 35 m/sec bereits als Orkan bezeichnet. Feinfühlige Regelapparate gestatten übrigens jede be-

Einspielen gebracht, dann wieder, wenn der Wind angestellt ist. Der Unterschied beider Ablesungen liefert die Windkräfte. Für verschiedene Versuchsarten dienen verschiedene Versuchseinrichtungen, die auf Schienen fahrbar, gegeneinander ausgewechselt werden können. Am meisten wird ein Apparat mit drei Wagen gebraucht, der die drei Komponenten eines ebenen Kräftesystems zu ermitteln gestattet.

Fig. 2 zeigt einen Blick am Versuchsplatz mit der Dreikomponentenwaage und am Auffangtrichter vorbei nach dem Betongehäuse des Gebläses, Fig. 3 einen Durchblick vom Auf-

<sup>5)</sup> Am ausführlichsten in den „Ergebnissen der Aerodynamischen Versuchsanstalt, I. Lieferung, Oldenbourg, München 1921; kürzer in Zeitschr. f. Flugtechn. u. Motorl. 1920, S. 84, und Beiheft 1, 1920, S. 51.



fangtrichter nach der Düse. In der Mitte hängt an 6 Drähten ein Modell des großen Staakener Verkehrsflugzeuges von 1920. Einen Blick in die wieder aufgebaute kleine Anlage zeigen Fig. 4 und 5.

Ich gehe nun über zu den *Aufgaben der Anstalt*. Sie ist, wie erwähnt, entstanden aus den

das Zustandekommen des Luftwiderstandes entsprechen würde, gibt eine Verminderung auf die Hälfte bis  $\frac{1}{4}$ , je nach dem Winkel an der Kegelspitze. Durch Verkleiden in Form einer Granate wird die Verminderung auf etwa  $\frac{1}{2}$  erreicht. Man kann aber noch viel weiter kommen, wenn man den Körper in *Fischform* verkleidet.

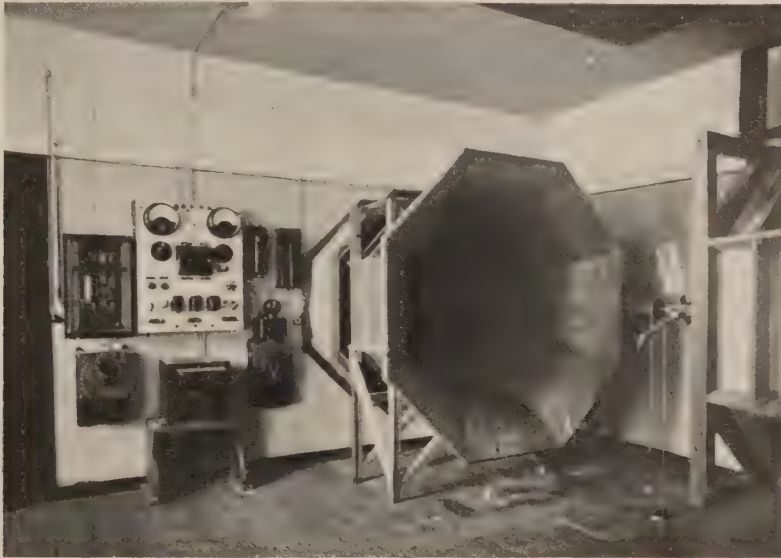


Fig. 2. Großer Windkanal, links die Dreikomponentenwaage, hinten Gebläsegehäuse.

Bedürfnissen des Luftfahrzeugwesens. Ihre Forschungserscheinungen haben aber einen viel größeren Verwendungskreis. Bezüglich der luftfahrttechnischen Aufgaben will ich mich hier ganz kurz fassen und dafür die Bedeutung der Anstalt für andere Zweige der Technik um so mehr hervorheben.

In der Luftfahrttechnik stand neben grundsätzlicher Klärung von verschiedenen Fragen betreffend die Luftkräfte auf Luftschiffkörper, Flugzeugtragflächen, Propeller usw. die Aufgabe voran, für diese Körper solche Formen zu finden, die sich für einen bestimmten Zweck als die günstigsten erweisen. Eine Frage dieser Art hat auch über die Luftfahrt hinaus Bedeutung: „Welche Körperform hat unter vorgegebenen Bedingungen den kleinsten Luftwiderstand?“ Da über diesen Punkt noch sehr unrichtige Anschauungen verbreitet sind, will ich ein wenig darauf eingehen. Durch Zusammenarbeiten der Theorie und der Versuche zeigte es sich sehr bald, daß die Formen kleinsten Luftwiderstandes vor allem hinten sehr schlank zulaufen müssen; vorne dürfen sie zugespitzt sein, eine eirunde Gestalt ist aber ebenso gut und ist häufig zweckmäßiger. Es möge z. B. die Aufgabe vorliegen, den in Fig. 6 oben dargestellten Körper „auf Luftwiderstand zu verkleiden“. Wir wollen den Widerstand des unverkleideten Körpers = 1 setzen. Das Aufsetzen eines Kegels auf die Vorderseite, das den älteren Anschauungen über



Fig. 3. Großer Windkanal. Durchblick vom Aufhängetrichter nach der Düse.

Hierdurch läßt sich der Widerstand auf den 25. Teil und noch darunter vermindern. Man sieht leicht ein, welche Bedeutung die richtige Erkenntnis dieser Dinge für die Luftfahrzeuge hat, deren einzige Widerstände Luftwiderstände sind. Die ungeheure Überlegenheit der heutigen

nutzbringend verwendet werden können. Ein Aufsehen erregender Erfolg dieser Art ist der *neue Kraftwagen* des Herrn Dr. *Rumpler*, bei dem aller überflüssige Luftwiderstand nach streng flugtechnischen Gesichtspunkten vermieden ist. Abgesehen von der Brennstoffersparnis,

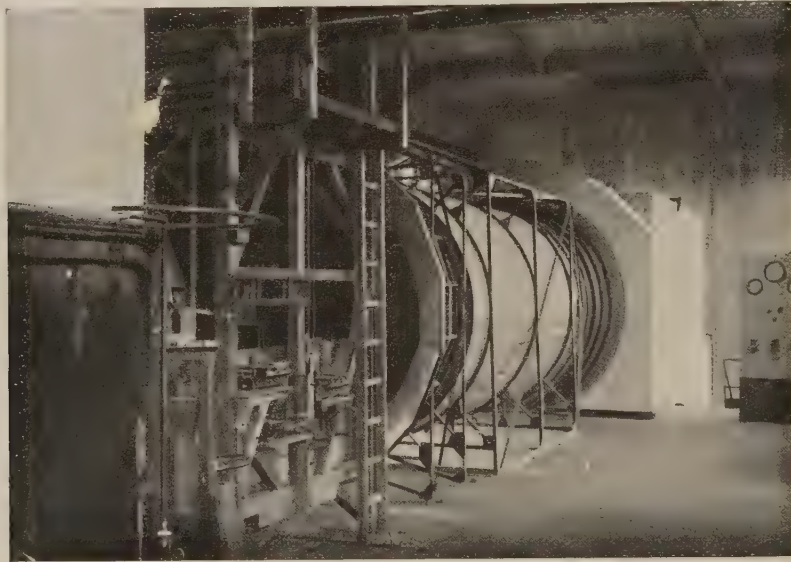


Fig. 4. Kleiner Windkanal. Blick gegen Auffangtrichter und Schaltwand.



Fig. 5. Kleiner Windkanal. Blick gegen die Düse. Im Luftstrom ein Windmühlenmodell. Rechts das Manometer zur Ablesung der Luftgeschwindigkeit.

Flugzeugkonstruktionen gegenüber denen von vor 10 Jahren beruht neben der Verbesserung der Motoren ganz wesentlich auf der Verringerung aller Widerstände.

Es ist klar, daß die hier gewonnenen Ergebnisse auch auf anderen Gebieten der Technik

die hierdurch, besonders bei großen Geschwindigkeiten, auftritt, hat man in diesem Fall noch den besonderen Vorteil, daß dem kleineren Luftwiderstand auch eine kleinere Luftunruhe hinter dem Wagen, d. h. eine kleinere Staubaufwirbelung entspricht. Die Aerodynamische Versuchsanstalt hat an Modellen den Widerstand von



zwei Kraftwagen gemessen, einmal von der Rumplerschen Form und einmal von einer jetzt bei Reisewagen üblichen Form. Der Luftwiderstand ergab sich dabei durch die richtige Formgebung um 62—65 % vermindert.

Für *Eisenbahnfahrzeuge* haben diese Dinge ebenfalls nicht ganz geringe Bedeutung, sobald es sich um große Fahrgeschwindigkeiten handelt. Der Luftwiderstand wächst ja, wie bekannt, mit

Anstalt auf Antrag des Eisenbahn-Zentralamtes gemacht worden. Die Sache ist aber dann — anscheinend durch einen Wechsel in der Person des Referenten — wieder stecken geblieben. Es hat sich dabei darum gehandelt, was durch bloße Verkleidung der jetzigen Lokomotivenform zu erreichen ist. Auf Fig. 7 sehen Sie ein von uns maskiertes Lokomotivenmodell; vorne ist eine abgerundete Stirnfläche zugefügt und die oberen

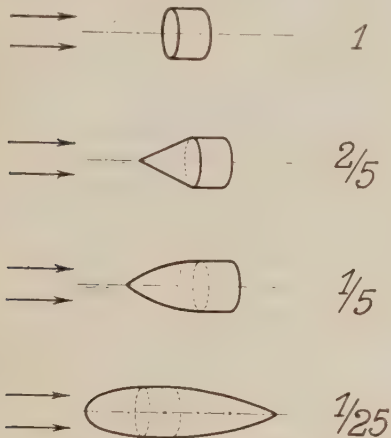


Fig. 6. Luftwiderstand von verschiedenen Verkleidungen eines Körpers.



Fig. 7. Auf Luftwiderstand verkleidetes Lokomotivenmodell.

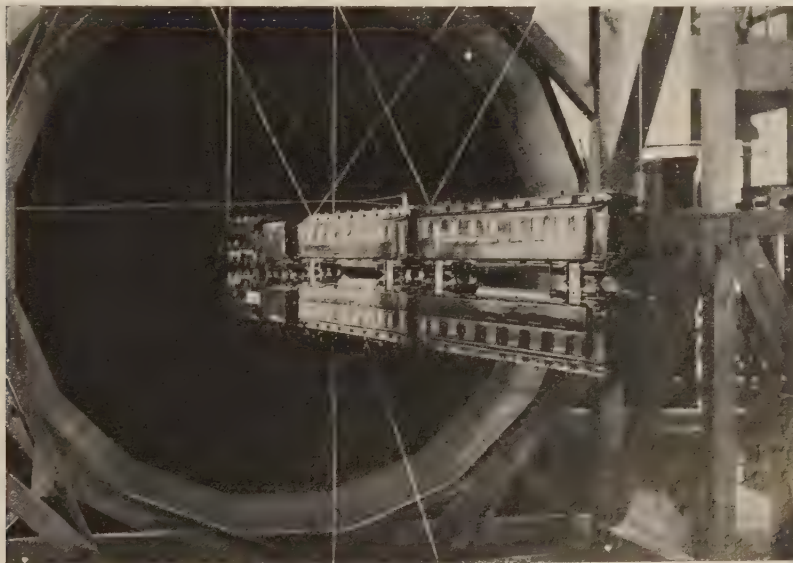


Fig. 8. D-Zugmodell im Windkanal.

dem Quadrat der Geschwindigkeit, so daß er also z. B. bei 90 km/Std. 25mal so groß ist als bei dem Radfahrertempo von 18 km; etwaiger Gegenwind bringt entsprechende Vermehrung des Widerstandes. Man wird deshalb bei Schnellzügen merkliche Ersparnisse machen können, wenn bei der äußeren Formgebung die aerodynamischen Gesichtspunkte durchweg Berücksichtigung finden. Ein erster schüchterner Versuch in dieser Richtung ist in der von mir geleiteten

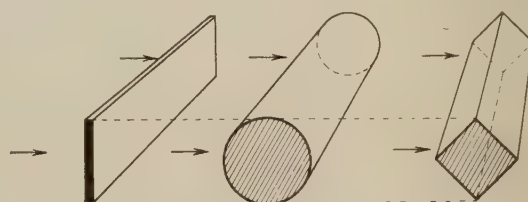
Aufbauten (Schornstein, Dampfdom) sind in einem einzigen Langkörper zusammengefaßt, der sich in dem abgeschrägten Führerhaus fortsetzt. Die Versuchsanordnung ist in Fig. 8 zu sehen. Wir haben, um den Boden im Strömungszustand nachzuahmen, zwei gleiche Modelle von Eisenbahnzügen spiegelbildlich zusammengesetzt, wobei an der Stelle, wo sich in Wirklichkeit der Boden befindet, eine Symmetrieebene der Strömung entsteht. Das Modell ist an Drähten so aufgehängt,

daß es sich in der Längsrichtung verschieben kann; diese Verschiebung wird von einem nach vorne laufenden Draht, der zu einem Waghebel führt, verhindert. Der Luftwiderstand wird so auf diesen Waghebel übertragen. Das ganze Versuchsgestell steht auf einer Drehscheibe, so daß das Modell auch auf Seitenwind untersucht werden kann.

Die Messungen, die bezüglich des Luftwiderstandes der bisherigen Lokomotivenform mit dem, was man aus älteren Versuchen darüber weiß, gut übereinstimmen, haben nun ergeben, daß der Widerstand der in ruhender Luft fahrenden Lokomotive mit Tender auf diese Weise um 30 % vermindert wird. Bei Seitenwind schräg von vorne fanden wir bis zu 38 % Verminderung. Diese *Luftwiderstandsverminderung* würde sich beim praktischen Betrieb durch eine *Ersparnis an Kohle* bemerkbar machen. Man würde z. B. bei einem mit 90 km/Std. fahrenden D-Zug bei ruhiger Luft annähernd 2 Zentner Kohle in jeder Fahrstunde sparen können. Wenn der Zug aber gegen einen steifen Wind von 15 m/sec schräg von vorn anzukämpfen hat, so würde die Kohlenersparnis bei Einhaltung der genannten Geschwindigkeit bereits auf 5 Zentner pro Stunde steigen. Ich hebe dabei hervor, daß bei den Versuchen lediglich an einer vorhandenen Lokomotive äußerliche Änderungen angebracht waren, Tender und Wagen dagegen unverändert geblieben sind. Würde einerseits die Lokomotive von vornherein mit Rücksicht auf den Luftwiderstand gebaut und würden Tender und Wagen ebenfalls abgeändert, so wäre noch eine merklich höhere Ersparnis zu erwarten. Es ist allerdings damit zu rechnen, daß die Auseinandersetzung mit den Eisenbahnfachleuten über diese Dinge nicht gerade leicht sein wird, da viele betriebstechnische Forderungen, die natürlich wohl beachtet werden müssen, mit den Forderungen der Aerodynamik im Widerstreit stehen; aber wo ein Wille ist, da wird auch der Weg sich finden.

Ein ganz anderes Fragegebiet, auf dem die Aerodynamische Versuchsanstalt nützliche Arbeit leisten kann und auch schon geleistet hat, ist der *Winddruck auf Brücken und auf Hochbauten*. Man braucht die Angaben hierüber bekanntlich für die Festigkeitsberechnung dieser Bauwerke. Die bisher üblichen Berechnungen dieser Art können nur recht bescheidenen Ansprüchen genügen; zu ihren Gunsten läßt sich höchstens anführen, daß sie einfach sind. Die Übereinstimmung mit der Wirklichkeit ist in manchen Fällen gut, manchmal aber auch höchst mangelhaft. Gemäß den bisherigen Anschauungen, die auf *Newton* zurückgehen, ergibt der Wind nur auf der Luvseite Druckerhöhungen, auf den Seitenflächen und auf der Leeseite dagegen keine Wirkung. Die Versuche über die Druckverteilung an angeblasenen Körpern ergeben aber sowohl auf den Seitenflächen, wie auf der Leeseite Saugwirkun-

gen von zum Teil sehr beträchtlicher Größe, die sich sogar bis auf Teile der Luvseite hin erstrecken können. Auch bezüglich des gesamten Widerstandes irgendeines Bauteiles ergeben sich recht beträchtliche Unterschiede. Hierüber gibt uns die Zusammenstellung auf Fig. 9 Auskunft. Die Winddrücke nach der Newtonschen Rechenvorschrift sind in der ersten Zeile unter den Figuren angegeben, die nach den Versuchen in der darunter stehenden Zeile. Der Winddruck auf das Brett ist dabei willkürlich = 1 gesetzt worden. Man erkennt, welche große Abweichungen sich hier gegen die alte Theorie ergeben haben. Bezüglich des Zylinders sind die Akten allerdings noch nicht geschlossen, da nach unseren Beobachtungen eine Rauigkeit der Oberfläche hier — im Gegensatz zu kantigen Körpern — großen Einfluß auf das Ergebnis zeigt, nämlich den Widerstand erheblich vergrößert<sup>9)</sup>. Durch die angegebenen Zahlen wird die mir berichtete Beobachtung verständlich, daß nämlich bei einem großen Sturm in Schweinfurt vor etwa 34 Jahren



### Newtonsche Formel.

|   |       |      |
|---|-------|------|
| 1 | 0,667 | 0,50 |
|---|-------|------|

### Versuchsergebnisse.

|   |       |      |
|---|-------|------|
| 1 | 0,185 | 0,82 |
|---|-------|------|

Fig. 9. Winddruck gegen längliche Körper.

die vierkantigen Fabrikschornsteine fast durchweg umgefallen seien, während die runden zum größten Teil stehen geblieben seien.

Für den *Bau elektrischer Kraftfernleitungen* ist ebenfalls der Winddruck sehr zu beachten. Der Widerstand der *Fahrdrahtleitungen* für elektrische Vollbahnen war auch bereits Gegenstand von Versuchen bei uns. Auch für den Schiffbau gibt es eine Reihe von Fragen, für die unsere Arbeit von Nutzen wäre, sowohl solche der Festigkeit gegen Winddruck, der Vermeidung von Fahrtwiderstand, weiter die beste Ausbildung der Schiffs-Lüfter-Köpfe. Die ganzen Fragen der *Segeltechnik* verdienen auch einmal eine planmäßige Durchforschung mit unseren Mitteln.

<sup>9)</sup> Es sei der Vollständigkeit halber noch erwähnt, daß unterhalb einer kritischen Geschwindigkeit (etwa  $v_k = 4/d$ , wo  $v$  die Geschwindigkeit in m/s und  $d$  der Durchmesser in m ist) der Widerstand die Höhe des Newtonschen Werts erreicht, vgl. etwa *Prandtl*, Festschr. der Kaiser-Wilh.-Ges. 1921 (Springer, Berlin), S. 178, oder *Wieselsberger*, Phys. Zeitschr. 1921, S. 321.



Ich will mich hier mit diesen Andeutungen begnügen.

Eine zurzeit sehr stark diskutierte Frage ist die nach der Ausnützung der Energie des Windes durch Kraftwerke, sowohl von der Art der *Windmühlen*, wie auch von anderen Bauarten. Auch auf diesem Gebiet hat die Aerodynamische Versuchsanstalt schon gearbeitet und es sind bereits erhebliche Verbesserungen gegenüber der bisher bei Windmühlen üblichen Bauart geglückt, bei der durch Nichtberücksichtigung der Saugvorgänge eine recht wesentliche Einzelheit immer falsch ausgeführt wurde. Es handelt sich darum, daß nicht nur die Druckseite, sondern auch die Saugseite der Flügel eine aerodynamisch richtige Durchbildung erhalten muß<sup>7)</sup>. (Es ist vielleicht nicht uninteressant, an diesem Punkte zu erwähnen, daß bei den Flugzeugen etwa  $\frac{2}{3}$  des Gewichtes durch Saugwirkung an der Oberseite der Tragflächen und nur  $\frac{1}{3}$  durch Druckwirkung auf die Unterseite getragen wird und daß gerade eine glatte und richtig gewölbte Saugseite für das Ergebnis besonders wichtig ist.) Die Versuche über Windkraftwerke werden, wie ich noch erwähnen will, an den im Luftstrom befindlichen Modellen in der Art gemacht, daß diese gebremst laufen und daß dabei die für die verschiedenen Umdrehungszahlen erforderlichen Bremskräfte gemessen werden<sup>8)</sup>. Eine größere Untersuchung dieser Art an dem Modell eines neuartigen Großwindkraftwerkes ist augenblicklich im Gange. —

Die Strömungsgesetze der Luft und die des Wassers sind so nahe verwandt, daß man für viele Fragestellungen einen die Wasserbewegung betreffenden Versuch mit Luft machen kann. Es wird so z. B. möglich sein, gewisse den Bau von Turbinen und Pumpen betreffende Fragen mit Hilfe von Versuchen in Luft zu machen, was gegenüber den immer nassen Wasserversuchen viel bequemer ist, aber auch schon durch die Tatsache, daß ein Mensch sich in dem Medium, in dem der Versuch vor sich geht, aufhalten kann, viele Anordnungen zur Beobachtung erst ermöglicht. Außerdem sind die Luftversuche meist ganz wesentlich billiger. Ein Problem dieser Art, das von allgemeiner Bedeutung ist und das gerade mit den Göttinger Mitteln besonders gut erledigt werden kann, ist die Untersuchung der Eigenschaften von Schaufelsystemen in beschleunigter bzw. verzögerter Strömung, wie sie bei Turbinen und Schaufelpumpen immer vorkommt. Über diese recht grundlegende Frage ist bisher noch sehr wenig Sicheres bekannt im Vergleich zu dem, was man über die Flügel in

unbeschleunigter Strömung, d. h. die Flugzeugtragflügel, heute weiß.

Die Anstalt besitzt noch besondere kleinere Versuchseinrichtungen, in denen mehrfach Gebläse untersucht worden sind. Es hat sich dabei besonders um Vorstudien für das große, sehr wirtschaftlich ausgefallene Gebläse der Anstalt gehandelt. Auch Versuche über Luftkühlung sind ausgeführt worden.

Zum Schlusse weise ich noch darauf hin, daß der Göttinger Luftstrom eine Gelegenheit wie keine zweite bietet, Meßgeräte für die Anzeige der Luftgeschwindigkeit zu prüfen und zu eichen. Die Entwicklung zuverlässiger Geräte dieser Art war seinerzeit eine der ersten und für den eigenen Betrieb der Anstalt wichtigsten Aufgaben. Prüfungen in fremdem Auftrag sind auch bereits vielfach ausgeführt worden.

Die Göttinger Anstalt ist im Kriege durch die Kriegsbehörden reichlich mit Mitteln versehen worden. Seit dessen unglücklichem Ausgang ist sie, wie so viele andere Anstalten, notleidend geworden und stand mehrmals schon der Gefahr der Schließung gegenüber. Bisher ist ihr durch Zuschüsse des Reichs, der K. W. G. und seitens der Flugzeugindustrie immer wieder geholfen worden. Aber die Flugzeugindustrie ist durch die Knebelung, die sie immer noch seitens der alliierten Mächte erfährt, im Augenblick nicht mehr tragfähig genug. Ich wende mich deshalb mit einem Appell an die Behörden und die Industrie derjenigen Fachgebiete, auf denen die Anstalt gemäß meiner Schilderung nutzbringende Tätigkeit ausübt oder zu entfalten vermag. Das Reichsverkehrsministerium in seiner Abteilung für Luft- und Kraftfahrwesen, die Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft und die Flugzeugindustrie bitte ich, mit herzlichem Dank für die bisherige wohlwollende Förderung, der Anstalt ihre Unterstützung auch weiterhin angedeihen zu lassen. Möchte es durch die gemeinsame Fürsorge erreicht werden, daß die Anstalt sich zum allgemeinen Nutzen nicht nur weiter erhalten, sondern auch in zweckentsprechender Weise fortentwickeln kann.

### Über die Vorgänge bei der Lederbereitung.

Von E. Stiasny, Darmstadt.

Die Lederbereitung ist als Handwerk so alt wie irgendeine andere geschichtlich überlieferte menschliche Betätigung. Als Gegenstand einer wissenschaftlichen Betrachtungsweise bildet sie aber eines der jüngsten Arbeitsgebiete der technologischen Forschung. Im Altertum und Mittelalter, ja bis ins 18. Jahrhundert hinein, hat sich die Wissenschaft überhaupt nicht gerne um die prosaischen Vorgänge bei der Ausübung eines Handwerkes gekümmert, und als dieses Vorurteil

<sup>7)</sup> Nachträglich erfuhr ich, daß diese Erkenntnis sich auch anderwärts schon Bahn gebrochen hat. In Dänemark sollen bereits Windräder mit Flugzeugflügeln laufen.

<sup>8)</sup> Auf Fig. 4 und 5 ist ein solcher Windmühlenversuch zu erkennen.

überwunden war, wurden fast alle anderen Gewerbe früher als die Gerberei einer wissenschaftlichen Fragestellung gewürdigt. Dadurch blieb die Lederbereitung gegenüber diesen anderen Gewerben in der Entwicklung zurück und es ist — wenn man von einigen vereinzelt rühmlichen Ausnahmen absieht — erst seit der Zeit des großen Technologen *Friedrich Knapp*, also seit der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts, daß ein regeres Interesse für gerbereiwissenschaftliche Probleme besteht. Der Grund für diese späten Beziehungen zwischen Theorie und Praxis liegt nicht, wie man häufig hört, in dem konservativ unzugänglichen Wesen des Gerbers, der durchaus an den Überlieferungen seiner Vorfahren festhalten will, sondern in erster Linie in den Schwierigkeiten, welche die Probleme der Lederbereitung dem Wissenschaftler darbieten. Die Eiweißnatur der Haut, die noch ungeklärte chemische Zusammensetzung der pflanzlichen Gerbstoffe, die verwickelten Vorgänge, welche den Erscheinungen des Schwellens und des Schrumpfens und vor allem des Gerbens zugrunde liegen, die bakteriologischen und enzymatischen Wirkungen der sogenannten Beizen und viele andere gerberisch wichtige Erscheinungen mußten dem Wissenschaftler vor *Knapps* Zeiten unüberwindliche Schwierigkeiten darbieten. Auch heute ist man noch nicht so weit gekommen, daß man alle jene Fragen erfolgreich in Angriff nehmen könnte, deren Beantwortung dem Ledertechniker erwünscht sein muß. Immerhin läßt sich aber mit dem derzeitigen Rüstzeug der Wissenschaften eine große Anzahl gerberischer Probleme mit guter Aussicht auf Erfolg bearbeiten. An der Hand dieser Einflußnahme der Gerbereiwissenschaft sei im folgenden ein knappes Bild über die wichtigeren Vorgänge der Gerbereitechnik gegeben.

Vorausgeschickt sei, daß man bei der tierischen Haut drei Schichten unterscheidet, nämlich die *Oberhaut* (Epidermis), die *Lederhaut* (Corium) und das *Unterhautzellgewebe*, und daß vor der eigentlichen Gerbung sowohl die Oberhaut wie das Unterhautzellgewebe entfernt werden muß; im *Leder* liegt nur das gegerbte Corium vor. — Die Entfernung des Unterhautzellgewebes geschieht auf mechanischem Wege, indem man von der entsprechend vorbehandelten Haut diese lockere Schicht mit Messern wegschneidet. Früher geschah dies im Handbetriebe, jetzt wird es allgemein mit Maschinen besorgt, bei denen die Haut durch zwei Walzen durchläuft, deren eine mit spiralförmig angeordneten scharfen Messern versehen ist und rasch rotiert. Der Umstand, daß das Corium aus einem verhältnismäßig dichten Geflecht von Faserbündeln besteht, während das Unterhautzellgewebe ein sehr lockeres, fettreiches Zellgewebe vorstellt, ist für diese Art der Abtrennung günstig. — Ganz anders erfolgt die Entfernung der Oberhaut. Diese besteht wieder aus wenigstens zwei Schichten, deren innere, dem

Corium benachbarte, aus weichen, gegen Alkalien, Fermente und besonders Fäulniskeime empfindlichen Zellen besteht (Schleimschicht), während die äußere aus harten, trockenen, gegen äußere Einflüsse jeglicher Art widerstandsfähigen Zellen zusammen gesetzt ist (Hornschicht). Die Hornschicht schützt die darunter liegenden Hautschichten gegen äußere Einflüsse; die Schleimschicht enthält jene lebenden Zellen, die sich fortwährend erneuern und, die älteren nach außen schiebend, zum schließlichen Abschuppen der Epidermis führen. Es handelt sich darum, diese Schleimschicht aufzulösen und dadurch die ganze Oberhaut mit allen darin vorkommenden Gebilden (Haaren, Fett- und Schweißdrüsen usw.) abtrennbar zu machen. Dies kann durch einen leichten Fäulnisvorgang bewirkt werden, der aber in solchen Grenzen gehalten werden muß, daß nur die empfindliche Schleimschicht, nicht aber die benachbarten Teile des Coriums davon berührt werden. In sogenannten Schwitzkammern werden die in Wasser geweichten Häute nebeneinander aufgehängt und so lange in diesen gut abschließbaren und temperierten Räumen gelassen, bis sich die Oberhaut mit den Haaren durch den Druck des Fingers entfernen läßt. Man unterbricht dann den Schwitzvorgang, indem man die Häute in kaltes Wasser bringt und sie darauf mit Handarbeit oder Maschinenbetrieb enthaart. Von dieser ältesten Art der Haarlockerung ist man allmählich mehr und mehr abgekommen, indem man die Schleimschicht mit alkalisch reagierenden Mitteln in Lösung bringt. Hierzu verwendet man in erster Linie Kalkmilch, dann — zumeist als Zusätze zu der Kalkbrühe — Schwefelnatrium, Schwefelcalcium, Soda u. a. Die Häute werden in große Geschirre eingehängt oder eingelegt, in denen diese „Äscherbrühen“ enthalten sind, oder sie werden in Haspelgeschirren oder in großen rotierenden Fässern damit bewegt, oder sie werden auf der Fleischseite mit einer Lösung oder einem Brei der genannten Stoffe bestrichen („angeschwödet“) und nach erfolgter Haarlockerung enthaart, d. h. von der gesamten Oberhaut mechanisch befreit. Neben dem Schwitzen, Äschern und Anschwöden gibt es noch ein neueres Verfahren, wonach die Zerstörung der Schleimschicht durch die Einwirkung der Fermente der Bauchspeicheldrüse (Trypsin) auf alkalisch gequollene Haut bewirkt wird, wobei durch Zusatz von antiseptischen Mitteln jede unkontrollierbare Tätigkeit von Fäulniskeimen verhindert wird.

Der Vorgang der Haarlockerung wird in der Praxis mit der *Auflockerung und Vorbereitung des Coriums für die spätere Gerbstoffaufnahme* verknüpft, obgleich beide Vorgänge unabhängig voneinander betrachtet und auch durchgeführt werden können. Das Corium besteht der Hauptmasse nach aus einem überaus kunstvollen Geflecht von Bindegewebsfasern, die zumeist zu dünneren oder dickeren Bündeln vereint und mit



anderen Bündeln durchwoben sind, so zwar, daß in den der Oberhaut zunächst gelegenen Teilen (Narbe) dünnere Bündel zu dichterem, kleinmaschigem Gewebe zusammenwirken, während in der dem Fleische zugewandten dickeren Hautschicht stärkere Bündel zu einem mehr lockeren, großmaschigen Gewebe vereinigt sind. Es handelt sich nun darum, dieses gesamte Fasergeflecht für die Gerbstoffaufnahme und für die Eigenschaften der jeweilig angestrebten Ledersorte geeignet zu machen, mit anderen Worten, die Haut zu einem möglichst oberflächenentwickelten Adsorbens zu gestalten. Hierbei ist zu erwägen, daß die Einzelfasern mittels eines schleimigen Stoffes (Kittsubstanz) innerhalb des Faserbündels aneinander haften, daß diese Kittsubstanz, die wahrscheinlich ein Abbauprodukt der Fasersubstanz (des Kollagens) ist, durch Alkalien und Fermente leichter angegriffen wird als die Faser selbst, und daß letztere durch Säuren und Alkalien in einen Zustand der Schwellung gebracht werden kann, deren Grad von großem Einfluß auf die Eigenschaften des gerbten Leders ist.

Man muß davon ausgehen, daß die besonderen Eigenschaften einer Ledersorte nicht allein von der Tierart (Rind, Kalb, Schaf, Ziege usw.) und von der Art des Gerbstoffes abhängen, der zur Gerbung verwendet wird, sondern daß neben diesen Faktoren auch die Art der *Vorbehandlung der Haut eine wichtige Rolle* spielt. Die Zusammenhänge, die zwischen dieser Vorbehandlung der Haut und den Eigentümlichkeiten des fertigen Leders bestehen, sind bisher zumeist nur auf empirischem Wege festgestellt worden; ein klares wissenschaftliches Bild ist heute noch kaum zu geben. Es handelt sich offenbar um mehrere Umstände: die Größe der inneren Oberfläche, den Schwellungsgrad der Hautfaser und den Grad der Schonung, die das Corium bei den vorbereiteten Arbeiten des Weichens, der Haarlockerung erfahren hat. Die Größe der inneren Oberfläche wird davon abhängen, wie weitgehend die Faserbündel und die Einzelfasern in den Faserbündeln freigelegt wurden. Der Quellungsgrad der Hautfaser wird von der Alkalität der Äscherbrühe bedingt und wird durch höhere Temperaturen der betreffenden Brühen sowie auch durch Mitwirkung von Fäulniskeimen bei den vorbereitenden Arbeiten verringert. Es ist eine Erfahrungstatsache, daß eine stark gequollene Haut den Gerbstoff langsamer aber reichlicher aufnimmt als eine mäßig oder gar nicht gequollene Haut, und daß das erzielte Leder im ersten Falle härter und schwerer ist; dabei wirkt die Schwellung mit Säuren ähnlich der Schwellung mit Laugen. Man strebt daher für Sohlleder einen erheblichen Schwellungsgrad der Häute an, während man dies bei der Herstellung von Oberleder und Feinleder vermeidet. Für die letztgenannten Ledersorten wird der Quellungsgrad noch besonders durch die Verwendung der sogenannten Beizen verringert.

Das Wesen der *Beizwirkung* ist nicht in eine einfache Formel zu bringen; denn es werden verschiedene Änderungen der Eigenschaften der Haut dadurch erzielt. Am deutlichsten erkennbar ist die *Verwandlung der gequollenen, elastischen (prallen) Haut* in eine weiche, sich schlüpfriß anfühlende und den Fingerdruck längere Zeit beibehaltende Form. Daneben wird auch die *mechanische Entfernbareit der noch zurückgebliebenen Haarbalgreste, Kalkseifen und sonstigen als „Schmutz“ bezeichneten Stoffe* bewirkt. Es hat sich gezeigt, daß die Weichheit und Zügigkeit des fertigen Leders in hohem Maße von dem Verlaufe des Beizvorganges abhängt. Dieser selbst wurde in früherer Zeit fast ausschließlich durch warme, fermentierte Mistbrühen (wässrige Auszüge von getrocknetem Hunde-, Hühner- oder Taubenmist) hervorgerufen; heute sind diese Mistbeizen größtenteils ersetzt durch die künstlichen Beizen, die entweder auf bakterieller oder auf rein enzymatischer Grundlage hergestellt sind und sich weitgehend eingebürgert haben. Es handelt sich bei allen diesen Beizen um die Entfernung der aus dem Äschern in der Haut zurückgebliebenen letzten Kalkreste, dann um vollständige Entquellung und — wie neuerdings nachgewiesen wurde — um eine *teilweise Auflösung der elastischen Fasern im Narbengewebe*. Die Elastizität des fertigen Leders (die beim Handschuhleder besonders deutlich ist) beruht nämlich nicht auf der Anwesenheit der elastischen Fasern, sondern wird in ausreichendem Maße von dem Geflechte der kollagenen Bindegewebsfasern und Faserbündeln bewirkt, wobei es sich nicht so sehr um die Dehnbarkeit der Fasern selbst, als um die *Verschiebbarkeit* dieser Fasern innerhalb des Fasergeflechtes handelt; diese Verhältnisse zu begünstigen, ist eine *wesentliche Aufgabe des Beizvorganges*. In welchem Grade auch die interfibrilläre Kittsubstanz durch die Beizen gelöst wird, oder inwieweit die Faser selbst hydrolytisch angeätzt wird, kann heute noch nicht gesagt werden. Außer den Mistbeizen werden auch Kleienbeizen verwendet, welche durch die bei saurer Gärung gebildeten organischen Säuren entkalken und durch die bei der Gärung entwickelten Gase (Kohlensäure und Wasserstoff) auflockernd auf das Hautgefüge wirken. Erst die gründlich und sorgfältig durch die besprochenen Arbeiten der Wasserwerkstätte vorbereitete Haut („Blöße“) ist zur Gerbung geeignet.

Aus der Fülle der mannigfachen Gerbungsarten, die sich infolge der großen Zahl verfügbarer Gerbstoffe und der Verschiedenheit der angewendeten Gerbverfahren ergeben, läßt sich im Rahmen dieses Aufsatzes — auch bei flüchtigster Besprechung — nur eine kleine Auswahl treffen.

Die *pflanzliche Gerbung*, die heute noch für die größte Menge des Leders in Betracht kommt, wurde in alten Zeiten mit dem in der betreffenden Gegend vorkommenden Gerbmittel (in Deutschland hauptsächlich Eichenrinde, in Ruß-



land Weidenrinde, in den Tropen die dort vorkommenden Gerbstoffe) durchgeführt, indem der Gerbstoff auf die in tiefen Gruben ausgebreiteten Häute gestreut und Haut auf Haut, durch Gerbstoffschichten getrennt, übereinander gelegt wurde. In solchen Gruben, die dann mit Wasser gefüllt („abgetränkt“) wurden, fand gleichzeitig eine Auslaugung des Gerbstoffes und eine Diffusion desselben in die Haut statt. Erst Ende des 18. Jahrhunderts hat man diese beiden Vorgänge des Auslaugens und des Gerbens zu trennen begonnen und die Häute mit Brühen behandelt, die durch vorherige Auslaugung des Gerbmittels bereitet wurden. Dieser Fortschritt hat sich besonders für die erste Hälfte des Gerbvorgangs, das Angerben, bewährt; für das Ausgerben ist man bei der Grubengerbung geblieben. Später wurde dann durch Verwendung mannigfacher, gerbstoffreicher, besonders auch überseeischer Gerbmittel, und durch die Entwicklung der Gerbextraktindustrie die Herstellung konzentrierterer Gerbbrühen ermöglicht; dadurch konnte ein immer größerer Anteil der Gerbung in Brühen vorgenommen und die viel langsamere fortschreitende Grubengerbung abgekürzt werden. Durch Bewegung in rotierenden Fässern wurde dann eine weitere Beschleunigung der Gerbung erzielt, wobei allerdings die Beschaffenheit des entstandenen Leders eine vom Grubenleder etwas abweichende wurde. Das Bestreben, die Gerbzeit zu verkürzen, hat zu vielen Vorschlägen geführt, von denen die Gerbung unter vermindertem Druck, die Gerbung unter erhöhtem Druck und die elektrische Gerbung erwähnt sein mögen. Erhebliche praktische Bedeutung hat bisher keiner dieser Vorschläge gefunden; auch wird die Gerbzeit bei der pflanzlichen Gerbung nicht unter ein gewisses Mindestmaß herabgedrückt werden können, denn die Vorgänge der Gerbung sind — auch wenn von der Diffusion des Gerbstoffes in das Hautinnere abgesehen wird — keine sehr rasch verlaufenden. Über das Wesen dieser Vorgänge stehen sich heute noch verschiedene Meinungen gegenüber. Die einen sind der Ansicht, daß der primär von der Hautfaser adsorbierte Gerbstoff allmählich sekundäre Veränderungen erfährt, die ihn unauswaschbar machen; andere wieder nehmen an, daß diese sekundären Vorgänge in chemischen Verbindungen mit der Hautsubstanz bestehen, sei es, daß es sich dabei um Salzbildungen (das Kollagen der Haut ist amphoter und kann daher sowohl als Base wie als Säure reagierend gedacht werden) oder daß es sich um Kondensationsprodukte oder um die Bildung von Verbindungen höherer Ordnung (im Sinne von A. Werner und P. Pfeiffer) handelt. Bei der Herstellung von Gewichtsleder (d. h. von Leder, das nach Gewicht verkauft wird), wird es das begreifliche Bestreben des Gerbers sein, nicht mit dem Minimum an Gerbstoff, das zur Lederbildung ausreichen würde, das Auslangen zu finden, sondern soviel Gerbstoff in die Haut zu bringen, wie

diese ohne Benachteiligung der Eigenschaften des Leders vertragen kann. Man hat es also neben der eigentlichen Gerbung der Lederfasern noch mit einer Füllung der Zwischenräume zwischen den Fasern und Faserbündeln zu tun. Es ist natürlich auch schon vorgekommen, daß dieses Streben nach möglichst hohem Gewicht zu Maßnahmen geführt hat, welche nicht gutgeheißen werden können. Merkwürdig ist, daß eine Ware, die der Fläche nach verbraucht wird (für Schuhsohlen, Riemen, Geschirre usw.), nach Gewicht verkauft wird, und daß alle Vorschläge, diese Ledersorten nach Maß zu verkaufen, wie dies bei den Oberledern und bei vielen Feinledern allgemein geschieht, nicht durchzudringen vermochten.

Neben der pflanzlichen Gerbung hat die *Chromgerbung* die größte Bedeutung erlangt. In den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts von *Friedrich Knapp* aufgefunden, und zum Gegenstand eingehender Versuche und Betrachtungen gemacht, konnte die Chromgerbung erst auf dem Umwege über Amerika den Weg nach Europa finden; es mußte die Nachbehandlung und Zurichtung des Leders der neuen Gerbung angepaßt werden und es mußten Maschinen erdacht werden, die für diese Zwecke geeignet sind. Diese notwendige praktische und maschinelle Entwicklung erfolgte in Amerika; erst später hat sich die Gerbereimaschinen-Industrie auch in Deutschland entwickelt und eine führende Stellung erlangt. Die Chromgerbung dient heute der Hauptsache nach zur Herstellung von Schuhoberledern; sie wird entweder in Form des Einbadverfahrens (*Knapp*) oder als Zweibadverfahren (*W. Schultz*) angewendet. Beim Einbadverfahren werden die Felle mit Lösungen von basischen Chromsalzen (zumeist Chromsulfaten) im Faß oder Haspel behandelt, während das Zweibadverfahren eine Vorbehandlung mit Chromsäurelösung und eine Nachbehandlung mit reduzierenden Brühen (zumeist Thiosulfat und Salzsäure) vorsieht, so daß das gerbende Chromsalz an Ort und Stelle (in der Haut) gebildet wird und dort gleich gerbend wirkt.

Von anderen Mineralgerbungen ist die *Alaungerbung* schon seit Jahrhunderten bekannt und für die Gerbung von Handschuhleder wichtig. Tonerdesalze haben aber eine viel geringere Gerbintensität als Chromsalze. Dies zeigt sich darin, daß man alaungares Leder unmittelbar nach der Gerbung durch Waschen mit kaltem Wasser fast vollständig entgerben kann, während Chromleder auch eine Behandlung mit heißem Wasser verträgt, ohne Chrom abzugeben. Durch Lagern wird das Alaunleder zwar etwas waschbeständiger, es erreicht aber niemals die Widerstandsfähigkeit des Chromleders. Von anderen Mineralgerbungen ist die *Eisengerbung*, über welche auch *Knapp* schon eingehende aber nicht erfolgreiche Versuche angestellt hatte, neuerdings wieder in den Vordergrund des Interesses



getreten. Es wird aber erst die nächste Zukunft zeigen, ob das Eisenleder den Wettbewerb mit Ledern anderer Gerbart wird siegreich bestehen können. Es gerben übrigens noch zahlreiche andere Mineralsalze, und es scheint das *Gemeinsame an diesen Salzen* die Hydrolyse ihrer wäßrigen Lösungen unter Bildung semikolloider basischer Anteile zu sein, die entweder durch Gelbfärbung an der Faser (kolloidchemischer Auffassung) oder durch chemische Vereinigung mit der Hauptsubstanz (rein chemische Auffassung) die Gerbung bewirken.

Die älteste und auch heute noch für manche Ledersorten wichtige *Gerbung* ist die *mit tierischen Fetten*. Es ist anzunehmen, daß der Jagdmensch des Urwaldes das Fell des erlegten Tieres mit dem Fett (und Hirn) desselben Tieres bearbeitete und dadurch aus der hart antrocknenden und der Fäulnis zugänglichen Haut ein weiches und beständiges Leder herstellte. Die Eskimos und einige Urvölker Süd-Amerikas haben diese Art der Lederbereitung noch bis zum heutigen Tage beibehalten. Für die Fettgerbung sind die Trane besonders geeignet, und die Herstellung des Sämischleders, das vorwiegend aus Schaf-, Reh- und Hirschfellen bereitet wird, beruht auf dem Einwalken von Tranen in die von der Narbe befreiten Hautblößen. Aus der ungesättigten Natur der Tranfettsäuren erklärt sich die lebhafte Oxydation, die in den Zwischenpausen der einzelnen Walk-Operationen, beim Lagern auf dem Trockenboden, unter erheblicher Erwärmung und Gelbfärbung der Felle eintritt, und durch welche die Irreversibilität des Gerbvorganges hervorgerufen wird. Sämischgares Leder gehört zu den gegen kaltes und heißes Wasser beständigsten Lederarten, und ein Teil des aufgenommenen Fettes läßt sich auch durch die üblichen, organischen Lösungsmittel nicht mehr dem Leder entziehen. Aber auch die zu Schmierzwecken verwendeten Fette üben bis zu einem gewissen Grade eine gerbende Wirkung aus, so daß man bei allen gefetteten Ledern Kombinationsgerbungen (z. B. pflanzliche Gerbung und Fettgerbung) anzunehmen hat.

Zum Schlusse sei noch über die Einführung der *künstlichen Gerbstoffe* und über die Ausichten gesprochen, welche sich dadurch für die weitere Entwicklung der Lederindustrie ergeben. Wenn man rückblickend die bisherige Entwicklung der Lederindustrie überschaut, so wird man den Fortschritt einerseits an der Vervollkommnung der mechanisch-maschinellen Hilfsmittel erkennen, die auch für die Umwandlung des Kleinbetriebs in den Großbetrieb ausschlaggebend war, man wird andererseits die zunehmende Zahl der für die Lederbereitung verwendeten Stoffe damit in Zusammenhang bringen müssen. Im letzten Jahrhundert zeigt sich ein deutliches Suchen nach gerberisch brauchbaren Naturstoffen oder industriellen Haupt- oder Nebenprodukten, wie

dies bei der Ausgestaltung der pflanzlichen Gerbung (Ersatz der Eichenrinde durch Gemische zahlreicher anderer Gerbstoffe) und bei den zum Teil noch im Versuchsstadium befindlichen Gerbungen mit Formaldehyd, Chinon, Halogenen, Zellstoffablaugen usw. zutage tritt. Es war daher nur noch ein kleiner Schritt von der Verwendung an sich bekannter aber als Gerbmittel noch unverwendeter Stoffe zu neuen auf dem Wege der Synthese hergestellten organischen Verbindungen, welchen eine spezifische gerbende Wirkung innewohnt. Zwar finden sich in der Literatur einige wenige ältere Angaben über Laboratoriumsprodukte, denen die für das Gerbvermögen pflanzlicher Gerbstoffe wesentliche Eigenschaft der Leimfällung zukommt, aber es wurde erst 1911 die Frage der technisch brauchbaren und wettbewerbfähigen künstlichen Gerbstoffe gelöst. Solche wurden zuerst von der Badischen Anilin- und Sodafabrik in den Handel gebracht, und es besteht wohl kein Zweifel, daß sich bei weiterer Verfolgung des eingeschlagenen Weges immer neue Stoffe von verschiedenartiger Gerbwirkung werden herstellen lassen, und daß man dabei zu Gerbwirkungen gelangen wird, welche die bisher bekannten noch übertreffen werden. Ein Vergleich der Entwicklung der Färberei seit der Einführung der künstlichen Farbstoffe wird diese Erwartungen berechtigt erscheinen lassen. In dieser Richtung und in der wissenschaftlichen Aufklärung aller die Lederbildung berührenden Vorgänge liegt wohl die nächste Entwicklung der Lederindustrie. Durch die Errichtung eines Hochschulinstitutes in Darmstadt und eines Forschungsinstitutes in Dresden sind wichtige Voraussetzungen geschaffen worden für einen solchen wirklichen und dauernden Fortschritt.

---

### Emil Selenka.

(Ein Gedenkblatt zur achtzigsten Wiederkehr seines Geburtstages am 27. Februar.)

Von W. Lubosch, Würzburg.

Seit Beginn etwa des neuen Jahrhunderts ist die anatomisch-formale Betrachtung der Organisation, wie sie der phylogenetischen Forschung zugrunde lag, neben der physiologisch-funktionellen mehr in den Hintergrund getreten. Solch ein Wechsel der Ansichten und Methoden ist für den Gang der Wissenschaft stets bezeichnend gewesen und ist vielleicht für ihren Fortschritt notwendig. Aber er bedeutet nichts Absolutes und Endgültiges. Mit dem Physiologisch-Funktionellen wird nur eine Seite des Organischen erfaßt. Wäre es anders, wären die alten Probleme der Morphologie von der Verwandtschaft der Formen endgültig ausgeschaltet, weil sie einer exakt-kausalen Behandlung nicht zu-

gänglich seien: was sagte uns dann die „Keimblattumkehr“ der Säugetierembryonen, was die Rassenbildung der Orangs und Gibbons, was die Entwicklung des Opossums, was das Lebenswerk eines Mannes wie *Selenka*!

Sei uns daher die Erinnerung an ihn mehr als ein historisches Gedenken; möge sie zugleich eine Mahnung sein, rüstig voranzuschreiten auf jener Bahn, auf der uns unsterbliche Geister vorangegangen sind.

*Selenka* ist sechzig Jahre alt geworden. Das Verzeichnis seiner Abhandlungen umfaßt 78 Nummern. Sie gehören zum größten Teil der Systematik und Entwicklungsgeschichte wirbelloser Tiere, zum Teil der Entwicklungsgeschichte niederer Wirbeltiere an, betreffen auch Fragen der Cytologie und der mikro- und makroskopischen Technik. Diejenigen Abhandlungen, durch die er für die Morphologie Entscheidendes geleistet hat, sind indessen die zur Entwicklungsgeschichte und Morphologie der Säugetiere, insbesondere der Primaten. Durch sie vor allem lebt sein Name unter uns fort, reiht er sich ebenbürtig seinen großen Vorgängern *Pander*, *v. Baer* und *Bischoff* an. Zwei Arbeitsgebiete grenzen sich vor uns ab, wenn wir diese Werke, die er im letzten Drittel seines Lebens geschaffen hat, überschauen: die früheste Entwicklung der Säugetierembryonen und die äußeren Formverhältnisse der Menschenaffen, insbesondere ihr Schädel und ihre Zahnung. Jenes Gebiet hat er abgeschlossen; die Ergebnisse sind in die Lehr- und Handbücher der Entwicklungsgeschichte übergegangen. Das andere Gebiet ist nur fragmentarisch bearbeitet worden, die Einzelheiten harren der wissenschaftlichen Verwertung in größerem Zusammenhange.

Das alte Problem der Keimblattbildung, das *Pander* und *K. E. v. Baer*, später für die Säugetiere *Reichert*, *Kupffer* und *Bischoff* zu klären versucht hatten, lockt auch ihn, besonders die „Keimblattumkehr“, die er zum ersten Male in einer Reihe glänzender Untersuchungen mit unvergleichlich schönen Abbildungen nicht nur ihrem Wesen nach aufklärt, sondern auch ihrem Zustandekommen nach ursächlich erklärt. Er zeigt, daß die Kleinheit der Keimblase und ihre frühzeitige Verwachsung mit der Uteruswand den Anstoß zu der starken Entwicklung der Deckschicht und des Ektoderms liefert, durch die es zur Bildung all der für die Keimblattumkehr bezeichnenden cänogenetischen Bildungen kommt. Es ist sein Verdienst, durch sorgfältige Vergleichung diesen Vorgang bei den Nagetieren in seinen Abweichungen festgestellt und auf die allgemeingültigen Grundzüge der Entwicklung zurückgeführt zu haben. Er liefert den Beweis, daß „trotz der gewaltigen Revolution, die die Keimblätter durch die Inversion erfahren, stets die Individualität und Integrität derselben vollständig gewahrt bleibt“ (*Hubrecht*). Wesentlich ist weiterhin, mit welchen höheren Zielen er an

die Embryologie herantritt. Homologien will er aufdecken. So meidet er das kasuistische Arbeiten kleiner Geister und wählt sein Material planmäßig aus. Dieses Ziel leitet ihn bei der Untersuchung der Entwicklung primitiver Säuger; er wählt die Marsupialier, um festzustellen, in welchen Beziehungen diese zur Entwicklung der Sauropsiden steht und ob australische und südamerikanische Beuteltiere denselben Entwicklungsgang einschlagen. Durch seine Untersuchungen wurde das in bejahendem Sinne entschieden. Das Material dazu hat er z. T. selbst in Brasilien zu erbeuten gesucht. Die spätere Expedition *Semons* nach Australien knüpft an diese Aufgaben an.

Die Frage der Blätterumkehr verknüpfte bei *Selenka* die älteren Arbeiten der achtziger Jahre mit seinen späteren aus der letzten Zeit seines Lebens. Mit diesen begab er sich auf bis dahin unbetretenes Gebiet. Zu der Zeit, als die ersten Entdeckungen über die früheste Keimesgeschichte des Menschen (*Spee*, *Peters*) gemacht wurden, trieb es ihn in die Heimat der asiatischen Menschenaffen, um hier Material zum Studium ihrer Entwicklung zu gewinnen. Seine noch lebende Gattin begleitete ihn dahin, deren Ruhm nicht nur ihre treue Mitarbeit begründete, sondern auch, daß sie für den erkrankten Gatten eintretend, schließlich selbständig die Erbeutung und Konservierung des unersetzlichen Materials leitete. Die Abhandlungen, in denen die Ergebnisse niedergelegt worden sind, sind durch ihre folgerichtige, ungekünstelte, ohne drückenden Literaturballast gerade aufs Ziel losgehende Darstellung und durch völlige Harmonie von Wort und Bild als Meisterwerke ersten Ranges gekennzeichnet. Durch diese Arbeiten erst wurde auch der Menschenkeim in seiner Entwicklung und Formbildung ganz verständlich. *Selenka* klärte die auch hier auf Grund der frühen Implantation auftretende „Entypie“ der Keimblätter auf, wies nach, daß sie allen Primaten eigentümlich und mit wichtigen cänogenetischen Vorgängen (Markamionhöhle, frühzeitige Mesenchymbildung usw.) verbunden sei. Er wies ferner nach, daß die Primatenentwicklung in ihren Grundzügen nicht nur, sondern in ihrem besonderen Ablauf nahezu vollständige Übereinstimmung zeige (Rückenknickung, Bauchstiel, Placentation), daß ferner aber hinsichtlich der Placentation zwischen Menschenaffen und Menschen eine noch engere Verwandtschaft bestehe. Besonders ist in historischer Hinsicht zu erwähnen die zwar durch *Hubrecht*, aber in Zusammenhang mit *Selenkas* Arbeiten gemachte wichtige Entdeckung des ersten Furchungsstadiums eines Primaten (4-Zellen-Stadium von *Macacus nemestrinus*, Menschenaffen, 5. Lieferung S. 331, hrsg. v. *Keibel*). Die 4 Zellen sind bereits zu je zweien an Gestalt und Größe verschieden. Daß durch *Selenkas* Untersuchungen an Schwanzaffen und Anthropoiden auch unsere



Kenntnis vom Bau der Placenta gefördert wurde, sei nur nebenbei bemerkt.

Das, was *Selenka* über die Rassenbildung und die Variationen am Schädel und Gebiß der Menschenaffen mitteilt, ist gerade heute, wo diese Fragen vielfach behandelt werden, als Material von großem Wert. Er hat nachdrücklich darauf hingewiesen, daß die Variabilität keineswegs als Folge der Domestikation angesehen werden dürfe, denn die Rassenbildung des Orang steht der des Menschen keineswegs nach. Nach *Selenkas* Darstellung der Rassen des Orang kann man kaum bezweifeln, daß geographische Isolierung den wesentlichsten Faktor zur Herausbildung der Rassenmerkmale bildet. Die Rassenbildung des Schimpansen und Gorilla steht der des Orang beträchtlich nach. Wie *Selenka* die Orangrassen beurteilt, ist für die Zeit bezeichnend, in der sich die Wirkung der wiederentdeckten Mendelschen Vererbungsregeln noch nicht geltend gemacht hatte. Er betrachtet sie als auseinanderstrebende Komplexe, die in ihren extremsten Gliedern bereits das Wesen neuer Arten angenommen hätten. Manche der Rassen seien durch bestimmte Merkmale konstant ausgezeichnet, aber im wesentlichen seien doch alle Rassen durch *Kombinationen* von Merkmalen bestimmt. Er hält das für ein Zeichen dafür, daß die Artbildung noch im Gange sei, ohne zu stabilen Verhältnissen geführt zu haben. Sehr bedeutsam für gewisse gegenwärtig vielbehandelte Fragen ist *Selenkas* Feststellung, daß die Schädelkapazitätskurven des Orang, Gorilla und Schimpansen in einem kleinen Bezirk sich decken, daß aber die Orangkurve nach beiden Seiten weit über die der Westaffen hinausgreift. Auf all die zahlreichen wertvollen Einzelheiten des hier vorliegenden Materials kann nur hingewiesen werden. Die modernen Rassenstudien haben die Grundfrage nach dem Wesen der Artbildung in den Hintergrund treten lassen. Die von *Selenka* gelieferten Materialien werden, wenn man diese Frage wieder aufnimmt, erst vollständig gewürdigt werden können.

*Selenkas* Leben ist eingehend und liebevoll von *Hubrecht* in der fünften Lieferung der „Menschenaffen“ (1903) geschildert worden. Der schöne Lichtdruck, der sein Bildnis wiedergibt, zeigt neben einem ausgesprochenen „Typus cerebralis“ einen Charakterkopf, in dem sich Züge des Künstlers mit dem Ausdruck tiefen Gemütes paaren. *Selenkas* wissenschaftliche Laufbahn war reich an äußeren Erfolgen. Mit 26 Jahren war er Professor der Zoologie an der Reichsuniversität in Leiden, wo *Vrolik*, *de Vries* und *Hubrecht* seine bedeutendsten Schüler waren. Mit 32 Jahren wurde er nach Erlangen berufen, wo er bis zum Jahre 1895 blieb. *v. Kowalewsky* war hier sein bedeutendster Schüler. 53 Jahre alt legte er seine Professur nieder, um sich in München ganz der Bearbeitung seines Affenmaterials zu widmen. Mitten aus dieser Arbeit wurde er am 21. Januar 1902 abberufen. Seiner

Gattin und Mitarbeiterin aber wünscht die anatomische Wissenschaft in herzlicher Dankbarkeit noch manches Jahr, in dem sie in ihres Gatten Ruhm selbst das schönste Glück finden möge.

## Erziehung der Zwergbäume.

Von P. Graebner, Berlin-Dahlem.

Seit altersher spielen die Zwergbäume der Japaner in der europäischen Literatur über Ostasien eine große Rolle; von fast allen Reisenden werden die ja sicher eigenartig anmutenden zwerghaften, oft nur wenige Dezimeter hohen Gehölze von der Tracht alter Bäume erwähnt, und oft wird diesen Kunstgebilden ein fabelhaftes Alter zugeschrieben. Nicht selten sind diese Zwerge im Garten reicher Leute zu Miniaturgärten zusammengestellt mit puppenhaften Brückchen und Wegen, Schiffchen und Häuschen an kleinen Teichen und Rinnsalen. Aber auch einzeln werden die Pflanzen in Töpfen kultiviert mit der Zerklüftung der Stämme und den knorrigen Ästen und Wurzeln uralter Waldbäume oder auch oben auf einem aufgerichteten verwitterten Steine stehend, als seien sie auf einem Felsblock erwachsen. Vor dem Kriege, namentlich seit Bestehen der sibirischen Eisenbahn, kamen sie auch in einiger Zahl nach Europa und erregten hier Aufsehen.

So eigenartig diese Gebilde dem Laien erscheinen, so bietet doch ihre Anzucht keinerlei Schwierigkeiten, nur einen tüchtigen Posten Geduld muß man haben, und den hat ja der Ostasiate im allgemeinen. Namentlich in den ersten Jahren müssen die Pflanzen dauernd unter Aufsicht stehen, damit nicht durch ein Versehen sich ein zu kräftiger Trieb entwickelt oder das Ganze vertrocknet. Der Hauptkniff beruht darin, durch allerlei Hilfsmittel von vornherein ein irgendwie üppiges Wachstum zu vermeiden und dadurch sofort ein kleinzelliges derbwandiges Holz zur Entwicklung zu bringen. Die Anlage weithumigen Frühjahrsholzes (bei den Dikotylen reich an Gefäßen) muß möglichst verhindert werden; der ganze Jahresring soll möglichst aus nur wenigen Zellagen des sogenannten Herbstholzes bestehen. Dadurch wird die Wasserzuleitung ganz ungemein erschwert, auch für die Zeiten günstigerer Feuchtigkeitsverhältnisse.

Angeblieh soll schon für die Anzucht möglichst kleiner kümmerlicher Same verwendet werden, aber das ist nach unseren Erfahrungen kaum nötig. Der junge Keimling muß aber von Anfang an knapp an Nahrung und namentlich an Wasser gehalten werden; der Topf bekommt nur gerade soviel Wasser, um das Pflänzchen am Leben zu erhalten, und das erfordert natürlich eine dauernde Aufmerksamkeit, zumal da die Töpfe stets so klein wie möglich gewählt werden. Dadurch erzielt man, daß die Wurzeln gezwungen sind, sich gleich von Anfang an umeinander zu wickeln, dicht aneinander zu lagern und sich da-



durch schon in frühester Jugend Konkurrenz zu machen.

Streckt sich zwischen den Keimblättern der erste Sproß hervor, so wird er meist schon nach wenigen gestauchten Stengelgliedern seiner Spitzenknospe beraubt und dadurch gezwungen, einige schwächere Seitensprosse zu bilden. Ist einer von den letzteren stärker als der andere, so wird auch dieser sofort wieder geköpft, überhaupt wird möglichst darauf gesehen, die schwächsten Keime zu erhalten, alle stärkeren Triebe, womöglich schon als Knospen, zu entfernen, um zu ver-



Zwergexemplar von *Thuja obtusa* von 6 dm Höhe und 8 dm Breite (nach Sorauer). Man sieht am Stammgrunde die Spaltung in eine Anzahl aus dem Topfe hervorragender Wurzeln.

hindern, daß durch solch stärker wachsenden Sproß eine stärkere Saugung und damit eine kräftigere Holzentwicklung im Jahresringe stattfindet. Vielfach wird behauptet, daß manche Arten anfangs durch scharfen Schnitt verkrüppelt werden, ich sah das an den untersuchten Pflanzen aber niemals; es scheint mir auch mindestens unnütz, denn auf starken Schnitt reagieren die Zweige bekanntlich durch Anlage besonders starker Adventivknospen. Es entsteht also gerade das, was man vermeiden will. Läßt sich die Wuchskraft nicht so ohne weiteres durch Entfernung der kräftigen Knospen eindämmen, so hat man das weitere Hilfsmittel, jeden mittelstarken Sproß sofort durch einen Faden abwärts zu ziehen.

Ein weiteres wichtiges Hilfsmittel zur Erziehung der Zwergbäume ist das stetige Höherpflanzen. Sobald die möglichst kleinen Töpfe völlig durchwurzelt sind, wird ein nur sehr wenig größerer Blumentopf gewählt und in diesen der Wurzelballen jedesmal ein Stück höher eingesetzt als er gestanden hat. Bei manchen Arten, namentlich Laubhölzern, läßt sich das ziemlich schnell, bei anderen langsam bewerkstelligen. Durch dieses Höhersetzen wachsen nur die unteren und mittleren feinen Wurzeln weiter, die obersten sterben ab, und dort bleiben nur die dickeren Wurzeln, die bis unten reichen, erhalten, die Erde zwischen ihnen wird allmählich herausgewaschen, ebenso die verrotteten Reste der feinen Wurzeln, und das Bäumchen steht schließlich auf „Stelzen“. War die Wurzelverkrümmung von Jugend auf stark und hat die allmähliche Hebung des „Wurzelhalses“ womöglich einige Dezimeter erreicht, so geben die dicken knorrigen oberirdischen Wurzeln oft das Bild eines zerklüfteten Felsens, auf dem im feuchten Klima oder im Gewächshause nicht selten Moos wächst.

Aber auch wirkliche Felsstücke finden bei der Anzucht Verwendung. Man wählt ein solches aus, welches, auf die hohe Kante gestellt, den Kulturtopf möglichst ausfüllt und nur wenig Raum für Erde läßt. Die Spitze des Steines ragt heraus oder ist nur mit wenig Erde bedeckt. Junge Sämlinge, die man frühzeitig durch Wurzelschnitt zur Erzeugung mehrerer, 3 oder 4 Hauptwurzeln veranlaßt hat, setzt man gewissermaßen „reitend“ über den Stein, so daß an jeder Seite eine Wurzel abwärts geht. Sehr bald schon nachdem das Anwachsen erfolgt ist, kann man mit der Höherlegung beginnen, den Wurzelhals und die oberen Wurzelteile von Erde befreien. Auch hier schreitet man mit der Höherpflanzung allmählich weiter und weiter fort, bis schließlich fast der ganze Stein über die Erdoberfläche hinausragt und die Wurzeln ihn umklammern, wie es die Fichten im Gebirge durch den Moosüberzug der Steine tun: das Bäumchen steht oben auf dem Stein.

Das ganze Verfahren, sämtliche Kunstgriffe sind dieselben, die bei uns zur Erziehung der Zwergobstbäume angewandt werden, alles läuft auf Verhinderung des starken Zuwachses, der lebhaften Saftbewegung hinaus. Durch mehr oder minder gewaltsame Mittel wird ein Saftresp. Wassermangel in den vegetativen Geweben hervorgerufen. Durch Veredelung auf schwachwüchsigen Unterlagen, durch Wurzelschnitt, Formierung mit schräger oder wagerechter Zweigstellung, Schnitt usw. wird auf eine möglichst frühzeitige Blüten- und Fruchtbildung, also auf den frühzeitigen Eintritt von Reife resp. Alterserscheinungen hingearbeitet. Unsere Topfobstbäumchen sind den ostasiatischen Zwerggehölzen absolut ähnliche Gebilde; ohne die gewaltsamen Kunstgriffe würden auch diese Obstsorten zu ansehnlichen Bäumen auswachsen, wie



man leicht an anderen Exemplaren sehen kann. Besteht doch eine Obst-„Sorte“ nur aus Stücken eines und desselben Individuums.

Es ist durchaus nicht nötig, daß, wie vielfach behauptet wird, bei der Erziehung der Zwergbäumchen die charakteristische Tracht der alten Bäume durch besondere Eingriffe nachgeahmt wird. Wie man vielfach in Botanischen Gärten beobachten kann, nehmen alte Exemplare, auch wenn sie durch die Topfkultur zwerghaft geblieben sind, den Habitus alter Bäume an. Es ist vielfach nicht möglich, daß in Botanischen Gärten alle Arten und alle Exemplare dauernd in immer größere Kübel gepflanzt werden, und hier tritt dann bald in dem dicht durchwurzelten Ballen dasselbe ein, was bei den künstlichen Zwergbäumchen absichtlich erzielt wird: die starke Wurzelkonkurrenz, der Nährstoff- und zeitweilige Wassermangel. Bei der dichten Durchwurzelung solcher Kübel spielt auch, was sehr häufig nicht genügend bei der Wurzelkonkurrenz beachtet wird, die Lähmung der Wurzeltätigkeit eine Rolle als Folge mangelhafter Zufuhr des Sauerstoffes an alle dicht aneinander lagernden Wurzeln. Die Lüfterneuerung kann mit dem starken Bedarf an Atemluft nicht Schritt halten. — Im Berlin-Dahlemer Botanischen Garten lebt u. a. noch heute ein altes Kübelexemplar der *Cedrus Libani* mit dickem Stamm und der eigenartigen schirmförmigen Krone bei einer Größe von noch lange nicht 2 m. Der verstorbene *Ascherson* sagte oft, das Exemplar sei in seiner Jugend schon ebenso groß gewesen und hätte ebenso ausgesehen; tatsächlich ist der jährliche Längenwuchs der Zweige ganz minimal. Es dürfte dies tatsächlich eine sehr alte Pflanze sein; bei den meisten der ostasiatischen Zwergbäume ist, wenigstens soweit es sich um die in Europa eingeführten handelt, das Alter oft maßlos übertrieben. Von uns untersuchte eingegangene Exemplare von angeblich sehr hohem Alter (von 100 bis 400 Jahren) waren meist nur einige Jahrzehnte, kaum bis 50 Jahre alt. Als weiteres sehr auffälliges Beispiel für die Ausbildung der typischen Alterstracht bei Verzweigung im Kübel sei nur noch ein reichlich blühendes und fruchtendes Exemplar der Roßkastanie (*Aesculus hippocastanum*) im Botanischen Garten in Christiania genannt, welches etwa 2,5 m hoch war. Die Zahl solcher Pflanzen ließe sich leicht beliebig vermehren.

### Neues vom Kuckuck.

Der zoologischen Gesellschaft in London führte Herr *Edgar Chance* in der Sitzung vom 8. November 1921 kinematographische Aufnahmen vor, die höchst merkwürdige Einblicke in das Leben des Kuckucks (*Cuculus canorus* L.) gewähren. Allerdings dürften die Folgerungen, die in der *Nature* (Nummer vom 24. XI. 21, Seite 415) aus diesen Bildern gezogen werden, wie wir hier zeigen wollen, noch mancher Ergänzung und Berichtigung bedürfen. Aus den er-

wähnten Aufnahmen geht hervor, daß der Kuckuck sein Ei ebenso wie andere Vögel in das zu seiner Aufnahme bestimmte Vogelnest regelrecht hineinlegt, wobei noch besonders darauf hinzuweisen ist, wie er nach Erledigung dieses Geschäfts eifrigst darauf bedacht ist, mit dem Schwanz zuvorderst das Wieseniepernest (meadow-pipits-nest), um das es sich in diesem Falle handelt, rasch und unauffällig zu verlassen. Offenbar möchte er den Lärm und die Angriffe vermeiden, zu denen es kommen müßte, wenn die Besitzer des Nestes ihn noch an ihrer Wohnstätte entdeckten. Der Berichterstatter folgert daraus, daß die Angaben jener Naturforscher, die das Kuckuckswelbchen sein Nest im Schnabel zum Neste der Pflegeeltern tragen lassen, auf Irrtum beruhen. Und doch lehrt eine einfache Überlegung, daß er dabei über das Ziel hinausschießt, und daß wir auch hier einen jener Fälle vor uns haben, wo die Beobachtung einer Gewohnheit die andere nicht ausschließt. Wer erinnerte sich nicht der hübschen Bilder — ich besinne mich, auch von *Adolf Müller* Zeichnungen der Art gesehen zu haben — auf denen der riesengroße Kopf eines jungen Kuckucks aus dem engen Eingang einer Bruthöhle hervorschaut, die seinen ungefügen Körper nicht mehr freigibt! Daß die Kuckuckswelbchen die Nestablage in solchen Nesthöhlen bewirkt haben, ist doch ausgeschlossen. Wenn sich in ihnen ein Kuckucksei vorfindet, muß es also schlechterdings auf die Weise hineingeschafft worden sein, von der unser Berichterstatter nichts wissen will.

Ebenso wird in jenem Bericht der *Nature* die Naturwahrheit der Bilder gerühmt, die uns zeigen, wie der erst wenige Tage alte Jungvogel, nackt und bloß, wie er noch ist, seine Pflegegeschwister auf den Rücken zu heben und über den Rand des Nestes zu werfen trachtet. Dabei wird ausdrücklich hervorgehoben, welchen teuflischen, geradezu grauerregenden Eindruck jene Handlungen machten. Auch wieder eine Gelegenheit, bei der wir uns und andere daran erinnern möchten, daß solche Instinkthandlungen nach dem Grundsatz animal non agit, sed agitur beurteilt werden müssen. Schon das Zeitwort „trachten“, das wir eben in naiver Weise gebrauchten, wird dem Sachverhalt keineswegs gerecht. Die modernen Biologen stehen hinsichtlich solcher Dinge doch schon auf einem ganz anderen Standpunkt, als seinerzeit unser großer Altmeister *Naumann*, der sich (s. *Naturg. d. Vögel Mitteleuropas IV*, S. 407) schlechterdings nicht denken konnte, daß ein junger Kuckuck schon am zweiten oder dritten Tage seines Lebens solche Handlungen vollbringen könnte, die er anstatt als bloße Reflexerscheinungen gewissermaßen als Untaten bezeichnen wollte. „Unmöglich kann ein so junges, unbehülliches Geschöpf mit so viel Überlegung, Eigenwillen und Selbstsucht handeln, wie hierzu gehören möchte. Man hat zwar die Handlung des beabsichtigten Hinauswerfens sehr zierlich und umständlich beschrieben, allein ich halte sie für ein Märchen.“ Man braucht nur diese Sätze gehörig zu überdenken, um einzusehen, welch ungeheure Kluft uns bei der Deutung solcher Lebensvorgänge von einem Forscher trennt, zu dem wir um seiner Beobachtungsgabe und reichen Kenntnisse willen noch heute mit unverminderter Bewunderung aufschauen.

Selbst der große Altmeister der beobachtenden Vogelkunde verkennt hier noch vollkommen das Wesen solcher unbewußten Instinkthandlungen, die mit „Überlegung, Selbstsucht, Eigenwillen“ auch nicht das Mindeste zu tun haben.



Gerade in solchen Fällen dürfte es sich empfehlen, den Versuch zu Hilfe zu nehmen. Er würde uns unzweifelhaft zeigen, daß jeder ähnliche, mechanische Reiz, wie der von den zitternden, zuckenden Gliedern der Pflegegeschwister herrührende den blinden, nackten Jungvogel zu den gleichen Bewegungen antreibt, durch welche die kleinen Pflegegeschwister aus dem Nest geworfen werden. Da diese Bewegungen und ihr Erfolg eine Vorbedingung der regelrechten Erziehung des Brutschmarotzers sind, erklären sie sich, so absonderlich sie auch auf den ersten Blick erscheinen mögen, doch unschwer als eine Wirkung der natürlichen Zuchtwahl.

Die Gebrüder Müller haben sich seinerzeit durch ihren sensationellen, zuerst in der Gartenlaube veröffentlichten Aufsatz „Der Kuckuck brütet“ bei den Fachgenossen in ein recht übles Licht gesetzt, da viele in jener vorschnellen Verwertung einer ungenauen Beobachtung (Legenot?? — —) nicht so sehr einen Irrtum, als vielmehr bewußte Täuschung erblicken wollten, was wir doch, jene Männer alles in allem nehmend, nicht gern glauben möchten. Jedenfalls bleibt bestehen, daß diese Forscher an anderer Stelle (Tiere der Heimat, Kassel 1883, II, 327 ff.) zuverlässige Beobachtungen darüber veröffentlichten, wie der junge Kuckuck seine Pflegegeschwister aus dem Neste herauschauffelt. Dieser Ausdruck dünkt uns, so ungebräuchlich er erscheinen mag, den betr. Vorgang am besten zu kennzeichnen. Dort handelte es sich um zwei junge Kuckuck in demselben Nest, von denen der kleinere, regsamere den größeren mit seinem eigentümlich muldenartig geformten Unterrücken hinauschauffelte. Auf diesen Instinkt dürfte auch der Umstand zurückzuführen sein, daß in der Regel nur ein Kuckucksei in demselben Nest untergebracht wird, denn unter solchen Verhältnissen würde ja selbst bei größeren, in der Pflege leistungsfähigeren Pflegeeltern doch nur der energischste der Jungvögel Aussicht haben, am Leben zu bleiben.

Vergeblich legten die Gebrüder Müller allerlei Eier und ähnliche Gegenstände in das Nest, in dem der energische Jungkuckuck hauste. Sie blieben ruhig liegen. „Daraus schließen wir, daß der junge Kuckuck nicht geneigt oder befähigt ist, sie zu entfernen.“

Offenbar fehlt hier der mechanische Reiz, der von den kribbelnden, zitternden Pflegegeschwistern ausgeht. Nur er treibt den jungen Kuckuck an, mit dem Rücken die für seine Pflegegeschwister so verhängnisvollen Schaufel- und Hebelbewegungen zu machen, die nur objektiv, aber nicht subjektiv zweckstrebend sind und uns nicht im mindesten berechtigen, irgendeine Kenntnis der Wesen vorauszusetzen, die ihnen zum Opfer fallen.

Wir möchten diese Gelegenheit nicht vorübergehen lassen, ohne noch darauf hinzuweisen, daß bei dem Kuckuck auch bezüglich des Verkehrs und Zusammenlebens der Geschlechter noch sehr viel aufzuklären ist. Naumann (a. a. O. IV, 404) stellt die Sache so dar, als ob der Kuckuck trotz seines parasitären Lebens die Einzelhe bewahrte. „Seine Ankunft am Fortpflanzungsort meldet der Kuckuck im Frühjahr alsbald durch sein Rufen, womit er aber eigentlich sein Weibchen herbeilockt, das man dann auch wenige Tage später immer in seiner Nähe sieht. Es folgt ihm allenthalben, in welchen Teil seines Reviers er sich auch wenden mag, und sie leben nun in ungetrennter Ehe bis zum Fortzuge.“

Alexander Bau, der die neueren Forschungen über

den Kuckuck mit vielem Geschick und gutem Urteil zusammenstellte (Friderich, Naturg. d. deutschen Vögel, 4. Aufl., S. 328) hat von diesen Verhältnissen eine ganz andere Auffassung. „Die männlichen Kuckucke erwählen sich einen Standplatz . . . Die Weibchen durchstreifen gewöhnlich ein weit größeres Revier, wobei sie nicht selten die angrenzenden Reviere mehrerer benachbarter Männchen durchstreifen, sich denselben durch ihre einladende Kicherstimme anzeigen, auch von jedem derselben sehr galant aufgenommen, durch das ganze Revier begleitet und niemals verjagt werden, bis das weite Herumstreifen endlich in ein Gebiet führt, wo ein anderes Weibchen residiert. Das ändert aber sofort die Szene; denn in diesem Falle gibt es sehr erbitterte Kämpfe zwischen denselben, gerade wie das bei den Männchen (unter sich) der Fall ist, wenn ein fremder Kuckuck in sein Revier eindringt.“

Diese Darstellung mag in der Regel zutreffen, doch lehrte mich selber die Erfahrung, daß die Dinge nicht immer in derselben Weise vor sich gehen. Im Sommer 1917, als sich im Dt.-Eylauer Gau eine unerhörte Menge von Kuckucken sammelte, sah ich am Ufer des Geserichs, auf freiem Gelände, wo nur ein paar Baumstämme lagerten, Kuckuckswelchen, die gleichzeitig von mehreren Männchen brünstig verfolgt wurden, deren Erregung sie durch fortwährendes Kichern noch steigerten. Das Gelände aber, auf dem sich der Kampf um das Weibchen abspielte, eine baumlose Wiese am freien Seeufer, gehörte zum Revier keines der an dem Minnespiel beteiligten Vögel.

Sicherlich gewähren uns die eingangs erwähnten kinematographischen Aufnahmen neue, dankenswerte Einblicke in das Leben eines unserer seltsamsten Vögel, doch dürften schon diese kurzen Ausführungen gezeigt haben, daß es vermessen wäre, im Hinblick auf sie von einer endgültigen Klärung der verwickelten biologischen Probleme zu sprechen, die mit der Art Cuculus canorus L. wohl noch auf lange hinaus untrennbar verbunden sein werden.

Fritz Braun, Danzig.

## Besprechungen.

Pauli, W., jun., Relativitätstheorie. Sonderabdruck aus der Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften. Leipzig, B. G. Teubner, 1921. IV, S. 539 bis 775. 17 × 25 cm. Preis geh. M. 40,—; geb. M. 50,—.

Wer dieses reife und groß angelegte Werk studiert, möchte nicht glauben, daß der Verfasser ein Mann von einundzwanzig Jahren ist. Man weiß nicht, was man am meisten bewundern soll, das psychologische Verständnis für die Ideenentwicklung, die Sicherheit der mathematischen Deduktion, den tiefen physikalischen Blick, das Vermögen übersichtlicher systematischer Darstellung, die Literaturkenntnis, die sachliche Vollständigkeit, die Sicherheit der Kritik.

Diese erschöpfende Exposition auf etwa 230 Seiten ist wie folgt gegliedert:

- I. Entwicklung der speziellen Relativitätstheorie mit sorgfältiger Berücksichtigung der für ihre Begründung maßgebenden Erfahrungstatsachen.
- II. Mathematische Hilfsmittel für die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie. Dem Kenner seien besonders die Absätze über Affintensoren und über infinitesimale Transformationen empfohlen.



- III. Weiterer Ausbau der speziellen Relativitätstheorie. Erschöpfend vom formalen und physikalischen Standpunkt.
- IV. Allgemeine Relativitätstheorie (75 Seiten). Musterhafte Darstellung der Ideenentwicklung. Vollständige Darlegung der mathematischen Methoden zur Lösung spezieller Probleme. Besonders wertvoll sind die Darlegungen über den Energiesatz. Darlegung und Kritik der Weylschen Theorie.

Paulis Bearbeitung sollte jeder zu Rate ziehen, der auf dem Gebiete der Relativität schöpferisch arbeitet, ebenso jeder, der sich in prinzipiellen Fragen authentisch orientieren will.

A. Einstein, Berlin.

**Laue, M. v., Die Relativitätstheorie.** Zweiter Band: Die allgemeine Relativitätstheorie und Einsteins Lehre von der Schwerkraft. Braunschweig, Vieweg u. Sohn, 1921. XII, 276 S. u. 23 Abb.  $13\frac{1}{2} \times 22$  cm. Preis geh. M. 19,20; geb. M. 23,— + Teuerungszuschlag.

In der Besprechung der 3. Auflage des ersten Bandes dieses Werkes (diese Zeitschr., 8. Jahrg., 1920, S. 766) hat der Referent (F. Reiche) darauf hingewiesen, „daß der in Aussicht gestellte zweite Band die Gravitationstheorien von Nordström und Mie und vor allem die allgemeine Relativitätstheorie von Einstein zur Darstellung bringen werde“. Jetzt liegt dieser zweite Band vor, aber die Entwicklung der theoretischen Forschung in den letzten Jahren hat es mit sich gebracht, daß die Gravitationstheorien von Nordström, Mie u. a. gegen die Einsteinsche Lehre zurücktreten mußten; v. Laue widmet daher dieser fast ausschließlich seine Aufmerksamkeit, nur Mies Gedanken zu einer Theorie der Materie bespricht er im letzten Kapitel (VIII, S. 239).

Es ist das erstmal, daß ein Physiker das große Gebiet der allgemeinen Relativität zusammenhängend bearbeitet hat; das Mathematische tritt, soviel Raum es auch notgedrungen einnehmen muß, überall nur als Werkzeug auf, die physikalischen Gedanken werden mit Sorgfalt herausgearbeitet und bilden durchaus die Hauptsache. Die beiden ersten Kapitel sind den physikalischen Grundlagen der Gravitations- und Relativitätstheorie gewidmet. Sodann folgt im 3. Kapitel eine Übersicht über die mathematischen Hilfsmittel, besonders die Tensorenrechnung und die Riemannsche Raumlehre; daran schließt sich ein Kapitel über nichteuklidische Geometrie, das eigentlich nicht zum Thema gehört, aber jedem als Beispiel für die allgemeine Theorie willkommen sein wird. Zu diesen mathematischen Kapiteln ist zu sagen, daß der Verfasser dabei in weitem Umfange dieselbe Vektor- und Tensorsymbolik benutzt, die er im ersten Bande eingeführt hat; es ist ein gutes Zeichen für die Brauchbarkeit dieses Algorithmus, daß er bis zu gewissem Grade der Verallgemeinerung von der speziellen zur allgemeinen Relativitätstheorie standhält. Die nächsten 4 Kapitel (die Grundgesetze der Physik in der allgemeinen Relativitätstheorie, ihre Anwendung auf besondere Fälle, strenge Lösungen der Feldgleichungen der Gravitation und Mies Theorie der Materie behandelnd) sind des Verfassers eigentliches Feld; hat er doch selbst wertvolle Beiträge zur Ausgestaltung der Theorie geliefert, z. B. den strengen Beweis der Rotverschiebung der Spektrallinien auf großen Himmelskörpern durch exakte Untersuchung der Lichtfortpflanzung im veränderlichen Schwerefeld. Überall treten die physikalischen Gedanken in den Vordergrund, doch ist auch die mathematische Darstellung immer sorgfältig durchdacht und

äußerst elegant. Leicht zu lesen ist aber dieser zweite Band ebensowenig wie der erste; doch das liegt im Wesen der Sache und ist kein Nachteil, da nur sorgfältiges Studium in einem so viel umstrittenen Gebiete wie die allgemeine Relativitätstheorie zu eigenem Urteil führen kann.

Am Schlusse des Buches findet sich eine wertvolle Literaturzusammenstellung. Inzwischen ist ein Werk erschienen, das darin noch nicht genannt ist, aber als Ergänzung des Laueschen Buches beachtet werden muß, nämlich W. Paulis Artikel über Relativitätstheorie in der Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften (V, 19).

In der Einleitung berichtet v. Laue, daß er der allgemeinen Relativitätstheorie Einsteins anfangs recht skeptisch gegenüber gestanden habe; aber je mehr er sich in die Theorie hineindachte, um so mehr habe er von der ihr innewohnenden Überzeugungskraft empfunden, und er könne den Wunsch nicht verhehlen, daß sein Buch etwas von dieser Überzeugungskraft auf den Leser ausüben möge. Ref. glaubt, daß dieser Wunsch sicher in Erfüllung gehen wird, und er empfiehlt daher das Werk auf das wärmste zur intensiven Lektüre all denen, die ernstlich in Einsteins Gedankenwelt eindringen wollen.

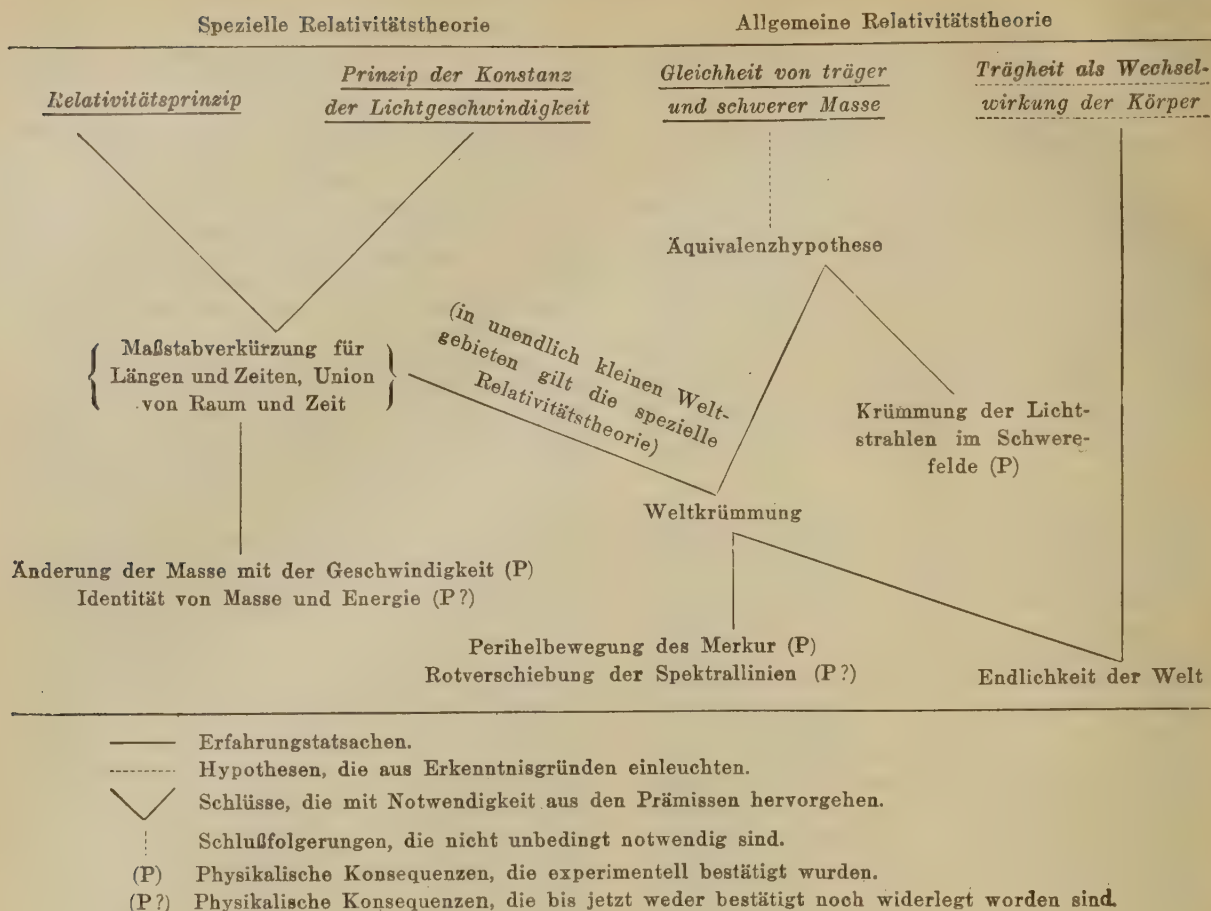
M. Born, Göttingen.

**Thirring, Hans, Die Idee der Relativitätstheorie.** Berlin, J. Springer, 1921. 170 S. und 7 Textabbildungen.  $14 \times 22$  cm. Preis M. 24,—.

Unter den zahlreichen Büchern, die über die Relativitätstheorie immer wieder erscheinen, ist das vorliegende eines der ganz wenigen, aus denen man wirklich erfahren kann, was die Relativitätstheorie will. Die Aufgabe, die der Verfasser sich gestellt hatte, „den gedanklichen Kern der Relativitätstheorie herauszuschälen und so gründlich darzustellen, als es bei völliger Vermeidung aller mathematischer Hilfsmittel möglich ist“, ist sicherlich im höchsten Maße gelungen. Dabei stellt dieses Buch die Relativitätstheorie lediglich vom physikalischen Standpunkt aus dar, ohne auf erkenntnistheoretische oder andere philosophische Probleme einzugehen, und gerade deswegen ist es — wie dies auch in der Absicht des Verfassers lag — besonders geeignet, als Grundlage für eine philosophische Diskussion zu dienen.

Mit einer Unerbittlichkeit, die sonst fast nur bei einer mathematischen Darstellung der Theorie zu finden ist, baut sich Gedanke neben Gedanke auf; und wenn aus irgendeiner Einführung, dann gewinnt man aus dieser die Überzeugung, „daß die Einsteinsche Theorie nicht etwa das mutwillige Produkt eines Geistes ist, der sich darin gefällt, „neue“ paradoxe Ideen aufzustellen, sondern daß sie vielmehr notwendigerweise entstehen mußte, wenn man unsere physikalischen Erfahrungen mit jener unerbittlichen Logik verarbeitete, wie es Einstein getan hat“. Die vielfachen gedanklichen Schwierigkeiten, die sich jedem entgegenstellen, der an die Theorie herantritt, sind ausführlich erörtert. Abschnitte, wie z. B. der über die Analyse des Gleichzeitigkeitsbegriffes oder über die scheinbare Absurdität der Folgerungen aus der speziellen Relativitätstheorie müssen dem, der sich die Mühe macht, sie zu studieren, über die Klippen hinweghelfen.

Daß die Auffassung der Rotation als einer relativen Bewegung immer wieder in den Vordergrund gerückt wird, ist zwar bei Thirring, der auf diesem Gebiet selbst grundlegende Untersuchungen durchgeführt hat, selbstverständlich, aber es muß doch hervorgehoben werden, da die älteren Darstellungen der Theorie gerade diese überaus wichtige Seite des Problems viel-



fach vernachlässigt haben. Daß *Thirring* aber auch wenigstens einen Einblick in das Wesen der Einsteinschen Gravitationstheorie ohne Zuhilfenahme der Mathematik gegeben hat, ist noch ein weiterer Vorzug gerade dieses Buches.

So ist es, wie kaum ein anderes, als erste elementare Einführung in die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie geeignet. Man sollte es vor jedem anderen zur Hand nehmen, wenn es sich darum handelt, in der oft neuartigen Gedankenwelt dieser Theorie Fuß zu fassen. Schließlich noch eines, das fast als Kuriosum zu verzeichnen ist. *Thirring* ist es gelungen, den gesamten gedanklichen Inhalt der speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie auf einer einzigen Druckseite in Form eines Schemas zusammenzufassen. Dieses Schema sei oben wiedergegeben. Vielleicht läßt es erkennen, daß der Satz: „eine richtige Theorie muß immer einfach sein“ zum mindesten nicht gegen die Relativitätstheorie spricht.

A. Kopff, Heidelberg-Königstuhl.

## Deutsche Meteorologische Gesellschaft. (Berliner Zweigverein.)

In der Sitzung am 10. Januar sprach Professor Dr. *Brückmann* über **pyrometrische Messungen der Himmels-helligkeit**. Einleitend wurde darauf hingewiesen, daß die Rayleighsche Theorie der Himmels-helligkeit von den Beobachtungen vielfach deshalb abweicht, weil

die Annahme eines gleichmäßigen trüben Mediums ein zu schematisches Bild gibt; durch die gröberen trüben Partikel (Staub, Wolkenelemente, Wasserdampf) verwickelt sich die Erscheinung. Leider sind gerade Messungen der Helligkeitsverteilung über den Himmel ziemlich selten. Für diese Zwecke empfahl der Vortragende die von *Holborn* und *Kurlbaum* vorgeschlagene und erprobte pyrometrische Methode. Als Photometer dient dabei ein einfaches Fernrohr, hinter dessen Objektivlinse sich die auszumessende Fläche abbildet, deren Helligkeit mit dem Faden einer dort angebrachten, sorgfältig geeichten Glühlampe verglichen wird. Durch vorgeschaltete farbige Gläser wird für homogenes Licht gesorgt. Diese Methode ist für meteorologische Zwecke besonders geeignet, weil sie sehr empfindlich ist, weil man jede Helligkeit einer bestimmten Temperatur des schwarzen Körpers zuordnen kann, weil man den anzuweisierenden Gegenstand direkt sieht, und weil man sehr kleine Flächenstücke, z. B. Wolkenlücken, photometrieren kann.

Prof. *Brückmann* arbeitete anfangs mit der Henningschen Modifikation dieses Pyrometers, bei dem statt der Filter eine spektrale Zerlegung der Lichtquelle eingeführt ist, so daß die Intensität jeder einzelnen Wellenlänge gemessen werden kann. Die Lichtstärke von *Hennings* Instrument ist so groß, daß man Himmels-helligkeiten in rot und grün bis zu Sonnenhöhen von  $-4^\circ$  auswerten kann. Einige Ergebnisse solcher Versuchsreihen aus dem Sommer 1921 wurden mitgeteilt.



Mit Rücksicht auf die Kostspieligkeit des Henning-schen Instruments ist Prof. Brückmann zu dem ursprünglichen Pyrometer mit Filtern zurückgekehrt und hat ein speziell für meteorologische Zwecke bestimmtes Pyrometer auf dem Potsdamer Meteorologisch-Magnetischen Observatorium hergestellt. Die Messung beschränkt sich auf die Farben rot und grün, für welche die Physikalisch-Technische Reichsanstalt Gelatinefilter mit scharf begrenztem Durchlässigkeitsbereich geliefert hat. Da die Vergleichslampe an dem glühenden schwarzen Körper geeicht ist, so erhält man die Himmelselligkeit zunächst ausgedrückt durch „schwarze“ Temperaturen und kann diese nach den Strahlungsgesetzen in Energien umrechnen. Ebenso gut kann man auch ein beliebiges relatives Maß (Temperatur der Sonne oder des weiß erscheinenden glühenden Körpers oder die mittlere tägliche Gesamthelligkeit bei bestimmter Sonnenhöhe) wählen. Sü.

## Botanische Mitteilungen.

**Zur Entwicklungsgeschichte der Gattungen Chromatium und Spirillum.** Vor 30 Jahren hat Förster über recht eigenartige Beobachtungen an dem Purpurbakterium *Chromatium Okeni* berichtet: kurze Zeit nach dem Auftreten der Organismen im Faulwasser waren zahlreiche Bakterien paarweise durch eine Brücke miteinander verbunden. Dieser Zustand hielt  $2\frac{1}{2}$  bis 16 Stunden an, dann teilte sich die Verbindungsbrücke und die beiden Individuen lösten sich voneinander los. Förster glaubt hier einen Sexualakt bei Bakterien nachgewiesen zu haben. Diese wenig beachtete Angabe wird neuerdings wieder ans Licht gezogen dadurch, daß Potthoff (Centralbl. f. Bakt. u. Parasitenk. 2. Abt. 55, 1921) nicht nur bei *Chromatium*, sondern auch bei anderen Gattungen (*Spirillum*, *Rhodospirillum*) ganz ähnliche Verhältnisse nachweisen konnte. Es werden kleine Ausstülpungen („Knospen“) gebildet, mit denen sich die Organismen aneinanderlegen. Bei *Rhodospirillum* — ebenfalls einer Purpurbakterie — wird dieser Vorgang durch eigenartige Suchbewegungen eingeleitet. Normalerweise scheint sich nicht Knospe an Knospe, sondern die Knospe des einen Individuums an die Membran des anderen anzulegen. Manchmal können zwei Brücken gleichzeitig gebildet werden. Auch Potthoff nimmt an, daß es sich hier um sexuelle Vorgänge handelt. Da bisher geschlechtliche Prozesse bei den Bakterien noch nicht nachgewiesen sind, so würde es sich um ein Ergebnis von ganz hervorragender Tragweite handeln. Aber gerade deshalb muß man noch eine abwartende Stellung einnehmen, bis eingehendere Daten vorliegen. Vielleicht wird die Monographie der Spirillen, die der Verfasser derzeit unter den Händen hat, hierüber weitere Aufschlüsse bringen.

**Licht- und Dunkeladaptation bei *Phycomyces nitens*.** In früheren Untersuchungen hat Blaauws gezeigt, daß die Sporangienträger von *Phycomyces nitens* sehr charakteristische Wachstumsoszillationen ausführen, wenn sie nach vorheriger Verdunklung plötzlich allseitig belichtet werden; er hat den ganzen Erscheinungskomplex als „Lichtwachstumsreaktion“ bezeichnet. Daß es in entsprechender Weise auch eine „Dunkelwachstumsreaktion“ gibt, folgt aus neueren Studien desselben Forschers in Verbindung mit D. Tol-

lenaar. (Kon. Ak. v. Wet. t. Amst. 1921.) Werden Sporangienträger, die an 64 Meterkerzen adaptiert waren, plötzlich verdunkelt, dann verlangsamt sich das Wachstum bis zu einem Minimum, steigt allmählich wieder an und verläuft weiterhin konstant, ohne aber den ursprünglichen Betrag der Geschwindigkeit voll erreicht zu haben. Das ist genau das reziproke Bild der Lichtwachstumsreaktion. Die Dunkelwachstumsreaktion kann auch bei vorübergehender Verdunklung erhalten werden. Ist die Dunkelperiode sehr kurz (1 Minute), dann tritt die Reaktion erst nachträglich im Lichte ein als Nachwirkung. Da nun der Übergang von Dunkel zu Licht selbst wieder als Reiz wirkt, so kommt das eigenartige Bild zustande, daß auf die Dunkelwachstumsreaktion oft eine Lichtwachstumsreaktion folgt, also mehrfache Oszillationen eintreten. Die Dunkelwachstumsreaktion fällt um so stärker aus, an je höhere Lichtintensitäten die Versuchspflanzen angepaßt waren und je länger die Verdunklung eingewirkt hat. — Der Verlauf der Dunkeladaptation wurde in zweifacher Weise näher analysiert: erstens wurde eine bestimmte gleiche Lichtmenge (256 Meterkerzensekunden) zu verschiedenen Zeiten nach der Verdunklung geboten und der Verlauf der nunmehr einsetzenden Lichtwachstumsreaktion registriert. Es zeigte sich, daß die Lichtwachstumsreaktion um so größere Ausschläge erreicht, je später die 256 MKS. verabreicht werden. Die Dunkeladaptation nimmt also mit der Dauer der Verdunklung zu. Zweitens wurde zu verschiedenen Zeitpunkten nach der Verdunklung die Lichtmenge bestimmt, die erforderlich ist, um gerade eine Lichtwachstumsreaktion auszulösen. Es ergaben sich für Sporangienträger, die zuvor an 64 MK adaptiert waren, folgende Schwellenwerte: dauernde Verdunklung  $\frac{1}{100}$  MKS., nach 70' Verdunklung  $\frac{1}{16}$  MKS., nach 55'  $\frac{1}{2}$  MKS., nach 41' 4 MKS., nach 28 $\frac{1}{2}$ ' 32 MKS., nach 18' 256 MKS., nach 5' 2000 MKS., ohne Verdunklung 3500 MKS. Aus diesen Zahlen folgt, daß die Zelle bei dauernder Verdunklung 350 000 mal so empfindlich ist wie beim Aufenthalt in 64 MK. Andere Zahlenwerte würde man natürlich erhalten, wenn man von einer anderen Lichtintensität ausgegangen wäre. Hierüber liegen noch keine Versuchsdaten vor. — Dagegen wurden in einer letzten Reihe von Experimenten mit dauernder von 0 bis 64 MK gestaffelter Beleuchtung die Lichtmengen bestimmt, die zur Erzielung einer Lichtwachstumsreaktion erforderlich sind; diese Bestimmungen fußen auf der Tatsache, daß eine solche Reaktion ja nicht bloß beim Übergang von Dunkel zu Licht, sondern auch bei einer Steigerung der Lichtintensität eintritt. Die Sporangienträger wurden gehalten bei 64, 8, 1,  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{64}$ ,  $\frac{1}{512}$  und 0 Meterkerzen, und es ergaben sich folgende Schwellenwerte: bei 64 MK. 3000—4000 MKS., bei 8 MK. 200—400 MKS., bei 1 MK. 25—50 MKS., bei  $\frac{1}{8}$  MK. 3—6 MKS., bei  $\frac{1}{64}$  MK. 0,4—0,8 MKS., bei  $\frac{1}{512}$  MK. 0,1—0,2 MKS., und bei 0 MK. 0,01 MKS. Aus diesen Zahlen folgert aber, daß die Lichtmenge, die eine Photowachstumsreaktion gerade auslöst, in einem großen Teil des Intervalls annähernd proportional der Intensität des Lichtes wächst. Danach scheint also das bekannte Webersche Gesetz für diese Beziehungen Gültigkeit zu haben. Der eigenartige Verlauf der Licht- und Dunkelwachstumsreaktionen zeigt, daß wir es hier mit typischen Reizvorgängen zu tun haben und daß der Änderung des Wachstums im einzelnen noch ungeklärte innere Prozesse vorhergehen, als deren sichtbaren Ausdruck wir eben die Veränderung der Wachstumsgeschwindigkeit



keit anzusehen haben. Darüber muß man sich klar sein, wenn man nun dazu schreitet, auf Grund dieser Wachstumsreaktionen die phototropischen Krümmungen zu erklären, wie es *Blaauws* in so vielversprechender Weise begonnen hat. Es ist sehr zu begrüßen, daß *Blaauws* selbst auf diese Probleme hinweist, deren Berührung wohl mancher in den ersten Arbeiten des Verfassers vermißt hat.

Stark.

## Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften 1921.

### 6. Januar. Gesamtsitzung.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Rubner.

Hr. Rubens las über die optischen Eigenschaften einiger Kristalle im langwelligen Spektrum nach gemeinsam mit Hrn. Liebisch ausgeführten Untersuchungen. (Dritte Mitteilung.) (Ersch. später.) Die neuen Beobachtungen bilden eine Ergänzung zu den beiden früheren gleichlautenden Veröffentlichungen. Neu untersucht wurden Wurtzit, Zirkon, Rutil, Strontianit und Kryolith. Besonderes Interesse besitzen die Reflexionsmessungen am Rutil, welcher unter allen bisher untersuchten Kristallen die höchsten Dielektrizitätskonstanten besitzt. Diesen hohen Dielektrizitätskonstanten 89 bzw. 173 entsprechen außerordentlich große Werte des Reflexionsvermögens, welche für die langwellige Quecksilberdampfstrahlung tatsächlich beobachtet worden sind, 64,4 bzw. 73,3 Prozent. Es zeigt sich also auch an diesem extremen Beispiel eine gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der optischen und elektrischen Methode.

Hr. Haberlandt legte eine Arbeit vor: Zur Physiologie der Zellteilung. Sechste Mitteilung. Über Auflösung von Zellteilungen durch Wundhormone. (Ersch. später.) Das Wesen des Wundreizes, der mittels Zellteilungen zur Bildung von Wundkork und anderen Wundgeweben führt, war bisher unbekannt. In vorliegender Mitteilung wird der experimentelle Nachweis erbracht, daß die teilungsauslösende Wirkung des Wundreizes auf Abbauprodukte der mechanisch verletzten oder getöteten Zellen zurückzuführen ist, die als Wundreizstoffe oder Wundhormone fungieren. Als Versuchsobjekte dienten die Kohlrabiknolle, die Kartoffel und die Laubblätter verschiedener Crassulaceen. Ferner wird gezeigt, daß Teilungen in Haar- und Epidermiszellen von *Coleus Rehneltianus* und *hybridus*, *Saintpaulia ionantha* und *Pelargonium zonale* häufig schon in den verletzten Zellen selbst eintreten, wenn diese am Leben bleiben, die benachbarten Zellen aber überhaupt nicht verletzt wurden. Auf Grund dieser Versuchsergebnisse wird u. a. versucht, die Entwicklungserregung der Eizelle bei künstlicher und natürlicher Parthenogenese sowie bei der normalen Befruchtung auf den Einfluß von teilungsauslösenden Wundhormonen zurückzuführen.

### 13. Januar. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Rubner.

Hr. Liebisch sprach über die homogenen Deformationen der Kristalle, die durch einfache Schiebungen nach Gleitflächen hervorgerufen werden. Die einfachen Schiebungen nach Gleitflächen, durch welche die physikalischen Eigenschaften der Kristalle nicht geändert werden, sind einem einfachen geometrischen Gesetz unterworfen, solange die Homogenität der Kristalle als eine kontinuierliche aufgefaßt werden kann. Eine vollständigere Einsicht in diese Vorgänge wird vermittelt durch die Kenntnis der auf röntgenometrischem Wege aufgefundenen homogenen diskontinuierlichen Strukturen der Kristalle. An dem Beispiel des Kalkspats wurde erläutert, daß die Zentren der Ionen Ca und CO<sub>3</sub> schiebungsfähige Gitter bilden, deren Punkte geradlinige Strecken in der Schiebungsrichtung zurücklegen. Dagegen ist die Bewegung der außerhalb dieser Zentren liegenden Punkte, insbesondere die Bahn der Zentren der O-Atome, eine zyklische.

### 20. Januar. Gesamtsitzung.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Rubner.

Hr. Stumpf berichtete über die hinterlassene Abhandlung des Hrn. Erdmann (†): Die philosophischen Grundlagen von Helmholtz' Wahrnehmungstheorie, kritisch erläutert. (Abh.) Die Abhandlung unterscheidet drei Reihen philosophischer Grundgedanken bei Helmholtz: erkenntnistheoretische, psychologische und logische. Die erste Gruppe enthält seine Lehre über die Sinnesempfindungen als Zeichen äußerer, in sich selbst unbekannter Objekte und vom Kausalgesetz als einem regulativen, durch den Erfolg immer mehr erhärteten Prinzip des Denkens (dessen Apriorität H. festhält, aber in seinem Sinne umdeutet), ferner seine dem Empirismus angenäherte Deutung der arithmetischen und geometrischen Axiome. Die psychologische Gruppe umfaßt Helmholtz' Scheidung eines passiven und eines aktiven Wahrnehmungsbestandes und seine empiristische Raumtheorie. Die dritte Gruppe seine Deutung der Assoziationsvorgänge als unbewußter Schlüsse. Kritische Erläuterungen werden im Verlauf der Darstellung und am Schluß eingefügt. Die Grundgedanken aber sind nach des Verfassers Ansicht auch gegenwärtig noch festzuhalten.

### 3. Februar. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Rubner.

Hr. Planck sprach über die Entropie fester Körper bei tiefen Temperaturen. Eine auf Grund der Quantentheorie entwickelte Ableitung des Ausdrucks für die Entropie eines festen Körpers führt zu dem Schluß, daß für die Temperatur jedes Körpers eine direkt angebbare Größenordnung existiert, auf welche sie nicht herabsinken darf, ohne daß die Gesetze der allgemeinen Thermodynamik ihre Gültigkeit verlieren. Durch diesen Satz wird allen thermodynamischen Betrachtungen, welche eine unbegrenzte Abkühlung eines Körpers zur Voraussetzung haben, prinzipiell die Beweiskraft entzogen.

### 10. Februar. Gesamtsitzung.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Rubner.

Hr. Hellmann sprach über die Schneeverhältnisse von Deutschland (Neue Untersuchungen über die Regenverhältnisse von Deutschland. Zweite Mitteilung.) (Ersch. später.) Auf Grund der 35jährigen Beobachtungen von 1881 bis 1915 wird der Versuch gemacht, die Verbreitung der Schneefälle in Deutschland durch Linien gleicher Zahl der Schneetage (Isochionen) darzustellen. Diese zeigen in ihrem Verlauf große Ähnlichkeit mit den Januarisothermen. Die Zahl der Schneetage schwankt im Tiefland zwischen 19 (Oberrheinthal) und 70 (Masuren) und erreicht auf dem Gipfel der Zugspitze die Zahl 191. Es bestehen gesetzmäßige Beziehungen zwischen der Anzahl der Tage mit Schneefall und mit Schneedecke, die auf die Bildung ewigen Schnees und früherer Eiszeiten einen Schluß zulassen.

Hr. Hellmann trug sodann vor über Die Meteorologie in den deutschen Flugschriften und Flugblättern des 16. Jahrhunderts. (Abh.) Ungewöhnliche meteorologische Erscheinungen, die in den Uranfängen der Kultur auf den Menschen allein Eindruck gemacht



haben, während die gewöhnliche tägliche Witterung jahrtausendlang unbeachtet blieb, haben auch noch im späten Mittelalter und in der Renaissancezeit, als man bereits angefangen hatte, tägliche Witterungsbeobachtungen zu machen, die Aufmerksamkeit weiter Kreise erregt. Im 15. und 16. Jahrhundert bilden sie den Inhalt von Flugschriften und Flugblättern (Einblattdrucke mit Abbildungen), von denen für Deutschland reichlich 500 nachgewiesen werden können. In der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts gehen sie meist von Süddeutschland aus, während in der zweiten Hälfte, unter dem Einfluß der Wittenberger Universität, Norddeutschland das Übergewicht erlangt. Trotz ihres meist populären Charakters zeigt sich ein deutlicher Fortschritt in der richtigeren Auffassung der beschriebenen Erscheinungen, die in der Mehrzahl der optischen Meteorologie angehören.

### 3. März. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Rubner.

Hr. Einstein las über eine naheliegende Ergänzung des Fundamentes der allgemeinen Relativitätstheorie. Es wird gezeigt, daß man entsprechend dem Weylschen Grundgedanken auf die objektive Existenz der Lichtkegel (Invarianz der Gleichung  $ds^2 = 0$ ) allein eine Invariantentheorie gründen kann, die jedoch im Gegensatz zu Weyls Theorie keine Hypothese über Streckenübertragung enthält, und in welcher die Potentiale  $\Phi_\nu$  nicht explizite in die Gleichungen eingehen. Ob die Theorie auf physikalische Bedeutung Anspruch erheben kann, müssen spätere Untersuchungen ergeben.

### 10. März. Gesamtsitzung.

Vorsitzender Sekretar: i. V. Hr. Planck.

Hr. Pompeckj sprach über Die Beziehungen zwischen Klima und Meeressedimenten. (Ersch. später.) Die Forschungen über klimatische Verhältnisse früherer geologischer Epochen knüpfen ganz vorwiegend an terrestre Gesteine an; marine Sedimente werden nur in wenigen Ausnahmefällen in Betracht gezogen. Die Untersuchung der Gesteinsfolgen aus Flachseegebieten ergibt in dem Wechsel tonreicher und kalkreicher Sedimente sichere Anzeichen für den Wechsel niederschlagsreicherer und niederschlagsärmerer Zeiten. Die hieraus abzuleitenden lang- und kurzperiodischen Schwankungen der Niederschlagsmengen lassen sich sehr gut mit den aus der Untersuchung terrestrer Gesteinsfolgen geschlossenen periodischen Klimaänderungen in der geologischen Vergangenheit parallelisieren. Aus der Abhängigkeit der Meeressedimente von klimatischen Faktoren ergibt sich für eine Reihe von Krustenbewegungen der Erde eine größere Stetigkeit, als sie bisher allgemein angenommen wurde.

### 17. März. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Rubner.

Hr. Correns berichtete über die zweite Fortsetzung der Versuche zur experimentellen Verschiebung des Geschlechtsverhältnisses. (Ersch. später.) Durch frühere Versuche war festgestellt worden, daß bei dem getrenntgeschlechtlichen *Melandrium* die weibchenbestimmenden Pollenkörner durch größere Schnelligkeit im Wachstum der Schläuche und auch an Zahl im Vorteil sind, und so ein Überwiegen der Weibchen in der Nachkommenschaft zustande kommt. Durch Abschluß und Wiederholung der früheren Versuche wurde das bestätigt und außerdem auf zwei neuen Wegen: 1. durch Abschneiden der Griffel so bald nach der Bestäubung, daß nur die ersten Pollenschläuche, die im Fruchtknoten ankommen, befruchten können, und 2. durch Vergleich der Nachkommenschaften nach Bestäubung von Spitze und Basis der Griffel. Es wurden aber auch Männchen gefunden, bei deren Pollenkörnern kein Unterschied in der Schnelligkeit des

Schlauchwachstums nachweisbar war, und solche, bei denen ebensoviel (oder gar mehr) Männchenbestimmer als Weibchenbestimmer vorhanden waren.

Hr. Orth legte eine Mitteilung der HH. Prof. Dr. A. Bickel und Dr. C. van Eweyk aus der experimentell-biologischen Abteilung des Pathologischen Institutes der Universität Berlin vor: Über Hitzesekretine. (Ersch. später.) Wenn man gewisse reine Eiweißkörper (Kasein, trockenes Eigelb) bei 100° C mit Salzsäure hydrolysiert, dann enthält das Hydrolysat keine Sekretine, d. h. Stoffe, die subkutan oder intravenös injiziert vom Blute aus die Sekretionen, speziell der Magenschleimhaut, anregen. Wenn man aber dieselben Eiweißkörper entweder vor der Hydrolyse für einige Stunden auf Temperaturen über 130° C bringt und dann bei 100° C hydrolysiert, oder wenn man das bei 100° C gewonnene Hydrolysat vorher nicht erhitzter Eiweißkörper nachträglich auf Temperaturen über 130° C bringt, dann enthalten diese Hydrolysate Sekretine, für welche der Name Hitzesekretine vorgeschlagen wird. Drei Versuchsprotokolle zeigen den Gang der Magensekretion unter der Einwirkung von Hitzesekretinen.

### 7. April. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Vorsitzender Sekretar: i. V. Hr. Schwarz.

Hr. Heider sprach über die Beziehungen der Körperachsen zur Eiachse bei den Chordaten. (Ersch. später.) Er behandelte die von Delsman und Spemann gewonnenen neueren Ergebnisse und vertrat die von Kopsch begründete Orientierung des Chordatenkeimes, wonach die Eiachse die Körperlängsachse unter einem spitzen Winkel schneidet, derart, daß der animale Pol vorne ventralwärts, der vegetative hinten dorsalwärts gelegen ist.

### 21. April. Sitzung der philosophisch-historischen Klasse.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Roethe.

Hr. Schuchhardt legte Fliegeraufnahmen aus der Dobrudscha von 1918 vor. Hr. Geheimrat Wiegand hat Fliegerphotographien aus der Dobrudscha von 1918 mit vielen anderen Aufnahmen aus der antiken Welt gesammelt. Sie stellen die sogenannten Trajanswälle in ihrer ganzen Ausdehnung von Constanza bis Cernavoda dar und ergänzen Schuchhardts Aufnahmen von 1917 (Abb. 1918 Nr. 12) in einem Punkte, indem sie am Großen Erdwall zwischen den großen Kastellen 10 und 11 noch ein kleines bisher unbeobachtetes ( $h^1$ ) nahe an 10 herangerückt erkennen lassen.

### 21. April. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Rubner.

Hr. G. Müller las unter Vorführung von Lichtbildern über Turmteleskope. Es wurden zunächst die amerikanischen Turmteleskope und im Anschluß daran die in Potsdam aus den Mitteln der Einstein-Spende im Bau befindliche Anlage besprochen. Die Pläne zu dieser Anlage wurden näher erläutert und eine Übersicht über die beabsichtigten Arbeiten gegeben. Zum Schluß wurden einige Mitteilungen über die Organisation und die Verwaltung der Einstein-Spende gemacht.

### 12. Mai. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Planck.

Hr. Fick berichtete über Gewichts- und Querschnittsbestimmungen, die er im Anschluß an seine Versuche über die Gelenkformentwicklung an den Muskeln zweier Hunde ausgeführt hat. (Ersch. später.) Es ergaben sich kennzeichnende Unterschiede zwischen Vierfüßer und Mensch sowie Beispiele für die Tätigkeitsanpassung der Muskeln.



## 2. Juni. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Planck.

Hr. Pompeckj sprach über das Gebiß des *Ornithopoden Dysalotosaurus* aus den Tendaguruschichten Deutsch-Ostafrikas. (Ersch. später.) Aus dem Bau, der Stellung und der Abnutzungsart der thekodonten einwurzeligen Zähne im Maxillare und Dentale, deren blattförmige Kronen nur auf einer Seite Schmelz tragen, ist zu folgern, daß das anisognathe Gebiß lediglich zum Zerschneiden harter pflanzlicher Nahrung benutzt wurde. Die Bewegung der Kiefer muß eine nahezu ausschließlich orthale gewesen sein; laterale Exkursionen des Unterkiefers können nur in ganz geringfügigem Maße vorgenommen worden sein. Der unbeschränkte Ersatz der Zähne erfolgte von der lingualen Seite her in alternierenden Reihen, welche die Alveolarränder der Kiefer schiefwinklig kreuzen.

Hr. Correns überreichte eine Abhandlung von Frä. Dr. Agnes Blum: *Ein Fall experimenteller Verschiebung des Geschlechtsverhältnisses bei Säugtieren.* (Ersch. später.) Es gelang durch Alkoholisierung der Männchen (durch Injektion) bei der weißen Maus das Geschlechtsverhältnis, das normal etwa 45 % Männchen und 55 % Weibchen beträgt (nach den Untersuchungen der Verfasserin), zu verschieben, daß etwa 55 % Männchen und 45 % Weibchen geboren wurden. Nach Entwöhnung der Männchen wird das Geschlechtsverhältnis wieder das normale. Die Ursache liegt in der größeren Hemmung der weibchenbestimmenden Spermatozoiden durch den Alkohol gegenüber den männchenbestimmenden.

## 9. Juni. Gesamtsitzung.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Planck.

Hr. Stumpf legte eine Abhandlung des früheren Leiters der Anthropoidenstation auf Teneriffa, Hrn. Dr. Wolfgang Köhler, vor: *Zur Psychologie des Schimpansen.* Darin werden Beobachtungen über das Vorstellungsleben des Schimpansen mitgeteilt, welches eng begrenzt zu sein scheint. — Eingehende Beschreibung der sozialen Beziehungen innerhalb der Schimpansengruppe zeigt ein merkwürdiges Nebeneinander von tierischen und recht menschlich anmutenden Zügen. — Die Spiele der Anthropoiden haben große Ähnlichkeit mit denen von Kindern; ihre höchste Entwicklung erreichen sie in einfachsten Formen von Tanz und Reigen. — Die Schimpansen lieben es, Spiegelbilder zu beobachten, erkennen aber auch weniger ähnliche Abbildungen, z. B. Photographien, sogar von sehr kleinem Maßstab.

## 16. Juni. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Planck.

Hr. v. Laue sprach über einige Fragen aus der allgemeinen Relativitätstheorie. Es wird untersucht, wie Dimensionsbetrachtungen in ihr anzustellen sind, wie die Maxwell'schen Gleichungen für den dreidimensionalen Raum zu formulieren sind, und ob rotierende Koordinatensysteme in ihrer ganzen Ausdehnung zugelassen sind.

## 23. Juni. Gesamtsitzung.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Planck.

Hr. Haberlandt las: *Zur Physiologie der Zellteilung. Siebente Mitteilung: Die Entwicklungserregung befruchteter und parthenogenetischer Eizellen.* (Ersch. später.) Im Anschluß an den früher geführten experimentellen Nachweis von Wundreizstoffen oder Wundhormonen wird zu zeigen versucht, daß die Entwicklungserregung befruchteter und natürlich-parthenogenetischer Eizellen durch Wund- und Nekrohormone bewirkt wird, die beim Eindringen der Spermatozoen oder Spermakerne in die Eizellen entstehen, oder diesen im Falle der Parthenogenesis aus der Um-

gebung zugeführt werden. Von diesem Gesichtspunkte aus wird zunächst der Bau der tierischen Spermatozoen und Spermazellen besprochen, der häufig nicht auf ein möglichst leichtes Eindringen, sondern auf eine relativ stärkere Verletzung der Eizelle abzielt. Auch die Penetrationsbahn des Spermatozoons in der Eizelle, der Dimorphismus der Spermatozoen und die häufige „physiologische Polyspermie“ werden von diesem Standpunkte aus betrachtet. Daran schließt sich die Besprechung analoger Erscheinungen im Pflanzenreich. Hinsichtlich der natürlichen Parthenogenesis wird an einigen Beispielen gezeigt, daß Nekrohormone in der Umgebung der Eizellen reichlich gebildet werden. Bei *Marsilia Drummondii* sterben die Kanalzellen frühzeitig ab, und Nekrohormone können durch ein Loch in der verdickten Wand, die die Eizelle von der Bauchkanalzelle trennt, in erstere übertreten. Bei *Taraxacum* und den parthenogenetischen *Hieracium*-Arten dürften die frühzeitig absterbenden Tapetenzellen des Integumentes das Nekrohormon liefern. Dagegen bleiben bei den untersuchten Cichorien mit normaler Befruchtung die Tapetenzellen bis nach der Bildung des Eiapparates am Leben.

## 7. Juli. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Planck.

Hr. Müller-Breslau sprach über die *Elastizitätstheorie der versteiften Kettenbrücke.* Im Anschluß an die vom Vortragenden begründete Theorie der durch einen Balken versteiften Kette werden die Elastizitätsgleichungen durch die Berücksichtigung der die Elastizität der Hauptträger stark beeinflussenden Widerstände und Formänderungen der Fahrbahnträger und des Windverbandes erweitert. Die Untersuchung wird auch auf den Fall ausgedehnt, daß der Windträger nach einem vom Vortragenden schon früher und neuerlich auch von anderer Seite gemachten Vorschlag als wagerechte versteifte Kettenbrücke mit Hilfe von zwei Windkabeln ausgebildet wird, eine Anordnung, die bei erheblicher Überschreitung der bis jetzt erreichten größten Spannweiten Beachtung verdient.

Hr. Heider legte vor eine Arbeit von Frau Dr. Fanny Hoppe-Moser in Vysoké Myto (Böhmen) über *Ursprung und Verwandtschaftsbeziehungen der Siphonophoren. Versuch einer Urmedusentheorie.* (Ersch. später.) Es wird die Ableitung des Siphonophorenstammes von einer medusenähnlichen Ausgangsform versucht. Die Ansicht, daß die Siphonophorenkolonie von festsitzenden Hydroidstücken abzuleiten sei, wird abgelehnt. Als Ausgangspunkt der Entwicklung des Siphonophorenstammes sei eine freischwimmende „Urmeduse“ anzunehmen. Als solche wird eine vereinfachte Form geschildert, aus der zunächst die Gruppe der Monophyiden sich entwickelt habe, von welcher die höheren Formen der Siphonophoren abgeleitet werden. Die gleiche Ansicht wird auf die übrigen Stämme der Knidarien ausgedehnt, indem allgemein die festsitzenden Formen von freischwimmenden Urmedusen abgeleitet werden.

## 14. Juli. Gesamtsitzung.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Planck.

Hr. Correns überreichte einen Bericht des Hrn. Dr. G. J. von Allesch: *Über die drei ersten Lebensmonate eines Schimpansen.* (Ersch. später.) Anfang April wurde im Zoologischen Garten in Berlin ein männlicher Schimpanse geboren, zum erstenmal in Europa, der bis zum Tage gut gedeiht. Es wird in der Abhandlung das Verhalten der Mutter während der Schwangerschaft und das von Mutter und Kind von der Geburt ab in physischer und psychischer Hinsicht geschildert, die Ernährung des Jungen, seine Pflege, seine Fortschritte bis zu den ersten Gehversuchen, die Veränderungen in der Psyche der Mutter,



speziell ihre mit dem Größerwerden des Kindes zunehmende Nervosität, das Verhalten der übrigen Schimpansen gegenüber der Mutter und dem Kinde.

## 21. Juli. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Planck.

Hr. Rubens las über *neue Versuche zur Prüfung des Planckschen Strahlungsgesetzes*, nach gemeinsam mit Hrn. G. Michel ausgeführten Beobachtungen. Die bisherigen Messungen haben die Richtigkeit der Planckschen Strahlungsformel in den beiden Grenzgebieten sichergestellt, in welchen diese Formel einerseits in das Wiensche, andererseits in das Rayleigh-Jeanssche Strahlungsgesetz übergeht. In dem Zwischengebiet ergaben die älteren Beobachtungen Abweichungen, auf deren systematischen Charakter die HH. Nernst und Wulf aufmerksam gemacht haben. Die mit verbesserten Hilfsmitteln angestellten neuen Messungen wurden nach der Methode der Isochromaten ausgeführt. Die Beobachtungen erstreckten sich auf das Spektralgebiet von  $4\mu$  bis  $52\mu$  und auf das Temperaturbereich vom Siedepunkt der Luft bis zum Palladiumschmelzpunkt. Die Ergebnisse waren für alle Temperaturen und alle Wellenlängen mit der Planckschen Formel in befriedigender Übereinstimmung.

## 28. Juli. Gesamtsitzung.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Planck.

Hr. Nernst las über *das Alter der Fixsterne*. Für das Alter der Sonne kennt man eine untere Grenze, weil radioaktive Forschungen den wohl sicheren Nachweis erbracht haben, daß Uranerze bereits  $10^9$  Jahre in der Erde kristallisiert lagern. Auf der andern Seite würde nach der bekannten Einsteinschen Formel die Sonne in etwa  $10^{13}$  Jahren ihre Masse eingebüßt haben, wenn sie so lange mit ihrer heutigen Intensität gestrahlt haben würde. Nimmt man an, daß sie höchstens ein Zehntel ihrer Masse eingebüßt haben könnte — dies wäre schon ein ungeheuer großer Betrag —, und berücksichtigt, daß zufolge der Sternstatistik in früheren Perioden die Sonne mindestens zehnmal so viel Energie im Mittel ausgestrahlt haben muß als gegenwärtig, so sinkt die obere Grenze des Alters der Sonne auf etwa  $10^{11}$  Jahre. Eine weitere Diskussion unserer Kenntnisse auf diesem Gebiete führt zu dem Ergebnisse, daß gelbe Sterne von der gleichen Masse, wie sie die Sonne besitzt, ein Alter von etwa  $3 \cdot 10^9$ , rote Sterne ein solches von etwa  $5 \cdot 10^9$  Jahren besitzen dürften, doch ist die genauere Einengung der oben gegebenen, wie es scheint, sehr sicheren Grenzen einigermaßen hypothetisch.

Hr. Nernst legte ferner eine Arbeit über die Prüfung des photochemischen Äquivalentgesetzes an der photographischen Trockenplatte von J. Eggert und W. Noddack vor. Das Nernstsche Äquivalentgesetz findet sich bestätigt für die primär photolytisch gebildeten Silberatome, nicht aber für die entwickelten Keime, weil nicht entfernt jedes Silberatom zur Entwicklung gelangt.

Hr. Stumpf überreichte eine Mitteilung über die Tonlage der Konsonanten und die für das Sprachverständnis entscheidende Gegend des Tonreiches. Durch ein System zahlreicher Interferenzröhren kann man Konsonanten ebenso wie Vokale ab- und aufbauen. Man findet so, von der oberen Tongrenze ausgehend, diejenigen Teile der Tonlinie, die jedem Konsonanten sein charakteristisches Gepräge geben (Formanten). Diese liegen zwischen etwa  $a^2$  und  $des^5$ . Der Gesamtumfang aber erstreckt sich von etwa  $c$  bis  $d^6$ . Auch das Sprachverständnis überhaupt läßt sich auf diesem Wege allmählich vernichten und die dafür entscheidende Gegend bestimmen. Erfahrungen der Telephontechnik stehen mit den Ergebnissen in guter Übereinstimmung.

Weiter legte Hr. von Laue eine Arbeit von Prof.

Dr. Fritz Weigert in Leipzig vor: *Zur Photochemie der Silberverbindungen*. (Nach Versuchen von W. Schoeller.) Um alle chemischen Operationen (Entwicklung) zu vermeiden, untersucht Verfasser photographische Auskopierpapiere, deren lichtempfindliche Schicht eine Chlorsilbergelatine-Emulsion bildet. Er schließt aus den Versuchen, daß bei ihnen nicht das Chlorsilber selbst das primär Lichtempfindliche darstellt, sondern die üblicherweise zugesetzten überschüssigen Silbersalze und das etwa schon durch Belichtung ausgeschiedene metallische Silber. Das Hauptergebnis besteht in der Prüfung des Einsteinschen photochemischen Äquivalentgesetzes, das bisher nur für Reaktionen in Gasen und Flüssigkeiten bestätigt ist. Der Verfasser gelangt zu einer vollen Bestätigung für die vorliegenden festen Stoffe, indem er annimmt, daß nur das vom vorhandenen Silber absorbierte Licht chemisch zur Wirkung kommt.

## 20. Oktober. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Rubner.

Hr. Rubner sprach über die Wasserbindung in Kolloiden mit besonderer Berücksichtigung des quergestreiften Muskels. (Ersch. später.) Der Vortragende erörtert die Methoden, welche zum Studium der Verteilung des Wassers in Kolloiden dienen können, und macht genaue zahlenmäßige Angaben über die Arten der Bindung des Wassers in tierischen Geweben. Anschließend werden für den Muskel neben der zahlenmäßigen Bestimmung über die Art der Wasserbindung unter verschiedenen Bedingungen, auch genauere Mitteilungen über die räumliche Anordnung des Wassers in der Längsachse und im Querschnitt gemacht, die für die Erklärung der Arbeitsleistung der Muskeln von Bedeutung sind.

Hr. Haberlandt legte eine Arbeit vor: *Über experimentelle Erzeugung von Adventivembryonen bei Oenothera lamarckiana*. Wenn man die Fruchtknoten kastrierter Blüten und Blütenknospen mit einer Stahl- oder Glasnadel mehrere Male ansticht, so werden von den verletzten Fruchtknotenwänden und auch Samenanlagen häufig Kallushaare und Kalluspolster gebildet. Auch der Nuzellus und das innere Integument sind dazu befähigt. Wachsen diese Kalluswucherungen in den Embryosack hinein, so haben sie die Tendenz, zu Adventivembryonen zu werden. Es gibt dann mancherlei Übergänge von einzelligen Blasen oder auch verzweigten, plasmareichen Haaren zu typisch oder monströs gestalteten Embryonen. Zur Erklärung der experimentellen Adventivembryonie werden Wundhormone und „embryobildende Stoffe“, die im Embryosack enthalten sind, herangezogen.

Hr. Stumpf berichtete über eine Arbeit Prof. W. Koehlers aus der Anthropoidenstation auf Teneriffa: *Über eine neue Methode zur psychologischen Untersuchung von Menschenaffen*. Anstatt Tiere von der hohen Begabung der Anthropoiden bei Versuchen über Wahrnehmung und Gedächtnis einer rein mechanischen Wahldressur zu unterwerfen, kann man die gleichen Untersuchungsziele durch eine einfachere Methode erreichen, bei welcher die Tiere stets nach einem einsichtigen Motiv wählen. Während Schimpansen die Anforderungen des neuen Verfahrens erfüllen, dürften schon die meisten der übrigen Wirbeltiere dabei versagen.

Der Vorsitzende legte eine Abhandlung des Hrn. Zimmermann über die Knickfestigkeit von Stäben mit elastischer Einspannung vor. (Ersch. später.) Es wird gezeigt, wie sich die Knickbedingungen von Stäben mit beliebiger Felderzahl und mit verschiedener elastischer Einspannung einzelner oder aller Knotenpunkte allgemein darstellen lassen. Die Determinanten, deren Nullsetzung diese Knickbedingungen ergibt, sind so regelmäßig gebaut, daß man sie auch für verwickeltere Fälle anschreiben kann, ohne eine besondere Rechnung ausführen zu müssen. Für die



darin auftretenden Hilfswerte hat der Verfasser Tafeln berechnet, die die Anwendung des Verfahrens erleichtern sollen.

### 3. November. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Rubner.

Hr. Orth sprach über *Unfälle und Aneurysmen* im Anschluß an die Erfahrungen, welche er bei seiner Gutachtertätigkeit gemacht hat. (Ersch. später.) Unter rund 1000 begutachteten Fällen waren 17 mal Aneurysmen vorhanden, aber in einem Falle handelte es sich nur um einen Nebenfund. Zweimal waren rasch tödliche dissezierende Aneurysmen vorhanden, 14 mal sackförmige, von denen eines an gesunder, zwei an syphilitischer Aorta traumatisch entstanden waren, während bei den übrigen 11 Fällen nur eine Verschlimmerung — sei es in Gestalt einer Zerreißung mit alsbaldigem Tod, sei es in Gestalt einer zunehmenden Vergrößerung mit späterem tödlichem Ausgang — in Frage kam, die 6 mal bejaht wurde. An einzelne Fälle schlossen sich Auseinandersetzungen über allgemeinere Fragen an.

### 10. November. Gesamtsitzung.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Roethe.

Hr. Penck sprach über *Ablagerungen und Schichtstörungen der letzten Interglazialzeit in den nördlichen Alpen*. (Ersch. später.) Interglaziale Schotter finden sich wie im Inn- und Isartale auch im Loisach-, Iller-, Zürichsee- und Glattale, wo sie Schieferkohlen überlagern oder einschließen. Sie ziehen sich im Glatt- wie im Isartale aus dem Moränengebiet der letzten Vergletscherung heraus und bilden den Sockel der Niederterrassen, weswegen sie bisher mit den sie bedeckenden Niederterrassenschottern vereinigt worden sind. Die im Liegenden der interglazialen Schotter auftretenden interglazialen lakustrinen Ablagerungen haben allenthalben Deformationen erfahren, die weder mit der Tektonik noch mit der Massenerhebung des Gebirges in Beziehung stehen.

### 24. November. Gesamtsitzung.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Roethe.

Der Vorsitzende legte eine Abhandlung des Hrn. Zimmermann über den Einfluß des Vorzustandes auf das Knicken gerader Stäbe vor. (Ersch. später.) Die gebräuchlichen Ableitungen der bekannten einfachen Knickformeln für den Stab mit einem Felde beruhen auf einem Grenzübergange, indem sie einen zunächst unendlichen Krafthebel irgendwie Null werden lassen. Dadurch erhält man nur eine Teillösung der Aufgabe, aus der man die allgemeineren durch Zusammensetzen einzelner Stücke der elastischen Linie zu gewinnen sucht. In der Abhandlung wird gezeigt, daß dieses Verfahren unvollkommen ist, weil es den Zustand nicht berücksichtigt, von dem aus der Grenzübergang stattfindet, und weil es eine gewisse Willkür enthält, durch die der Einfluß des Vorzustandes bisher verschleiert worden ist. Das hat u. a. auch die richtige Deutung der Ergebnisse von Knickversuchen erschwert. Der Verfasser zeigt an einigen Beispielen, wie der Einfluß des Vorzustandes berechnet werden kann. Es ergibt sich, daß die beiden Hauptfälle der symmetrischen und der unsymmetrischen Knickung grundsätzlich auseinanderzuhalten sind.

### 1. Dezember. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Rubner.

Hr. Pompeckj sprach über *Die Einstämmigkeit der Pterosaurier*. (Ersch. später.) Die als fliegende Fischräuber zu deutenden Flugsaurier der Jura- und Kreidezeit sind trotz der ihren Skelettbau beherrschenden,

mannigfachen Verschiedenheiten sowohl nach dem Bau der Flughand wie nach dem ihres Beckens als eine phyletische Einheit aufzufassen. Ramphorhynchoideen und Pterodactyloideen müssen beide aus der gleichen Wurzel, aus einer langschwänzigen, kletternden, Insekten fressenden Pseudosuchierform hervorgegangen sein. Auf dem Wege über Gleitschirmflieger erlangten sie Ruder- und Segelflugfähigkeit. Sie wurden auf zwei divergenten Wegen zu den langschwänzig gebliebenen, früh erloschenen Rhamporhynchoideen und zu den kurzschwänzigen, bis zu der für zahlreiche Reptilien kritischen Grenze der oberen Kreide fortdauernden Pterodactyloideen, in denen durch sonstige Spezialisierungen sich recht mannigfaltig gestaltete Formen entwickelt haben.

### 8. Dezember. Gesamtsitzung.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Roethe.

1. Hr. Haberlandt las über „*Die Entwicklungs-erregung der Eizellen einiger parthenogenetischer Kompositen*“. Bei *Hieracium flagellare* und *aurantiacum* treten in der Nachbarschaft der aposporen Embryosäcke sowie auch in diesen selbst mannigfache Desorganisations- und Absterbeerscheinungen auf; die dabei entstehenden Nekrohormone sind es wahrscheinlich, die die Entwicklungsregung der parthenogenetischen Eizellen auslösen. Bisweilen kommt es zur Bildung von „Wundendosperm“ und von „Endospermembryonen“. — Bei *Hieracium umbellatum* mit typischen Embryosäcken und Befruchtungsbedürftigen Eizellen fehlen jene Desorganisationsvorgänge gänzlich.

2. Hr. Einstein legte vor eine Mitteilung über *den Elementarprozeß der Lichtemission betreffendes Experiment*. Anordnung zur Untersuchung der Frage, ob die Frequenz der von einem Kanalstrahlteilchen bei einem Elementarprozeß ausgesandten Interferenzstrahlung von der Richtung abhängt.

3. Hr. Einstein legte ferner vor einen Aufsatz von Th. Kaluza in Königsberg „*Zum Unitätsproblem der Physik*“. (Ersch. später.) Durch Ränderung von Einsteins Gravitationstensor mit dem elektromagnetischen Viererpotential wird eine völlige Verschmelzung von Gravitation und Elektrizität in einer fünfdimensionalen Mannigfaltigkeit angestrebt. Sie gelingt ohne weiteres für sehr schwach geladene Materie, während die Anwendung der Theorie auf das Elektron durch ein störendes Zusatzglied erschwert wird.

### 15. Dezember. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Vorsitzender Sekretar: Hr. Rubner.

Hr. Hellmann sprach über *den Nebel in Deutschland*. Es wird versucht, aus dem vorliegenden nicht immer einwandfreien Beobachtungsmaterial über Nebel dessen Verbreitung und jahreszeitliche Verteilung in Deutschland zu ermitteln. Die Zahl der Tage mit Nebel im Jahre schwankt im Tiefland zwischen rund 20 und 80, während sie auf den höchsten Berggipfeln, wo der Nebel meist Einhüllung in Wolken bedeutet, bis auf 275 ansteigt (Brocken, Schneekoppe). Der nebelreichste Monat ist an der Nordseeküste der Januar, an der westlichen Ostsee der Dezember und im Küstenbereich der östlichen Ostsee der März. Das Binnenland hat die häufigsten Nebeltage im Oktober oder November. Berücksichtigt man nur die Morgen- und Nachmittagsnebel, die den Hauptanteil an der Gesamtzahl der Nebel ausmachen, so fällt deren Maximum im Binnenland vielfach auch auf den März, so daß der Glaube des Volkes an die Häufigkeit der Märznebel eine gewisse Berechtigung hat, wenn auch die daran sich knüpfenden langfristigen Wettervorhersagen hinfällig sind. Aus dem räumlichen und zeitlichen Auftreten des Nebels werden sodann noch Schlüsse über die Ursachen der Nebelbildung gezogen.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von

**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 9. (Seite 193—216)

3. März 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Die Bedeutung der physikalischen Chemie für die Biologie mit besonderer Berücksichtigung von Nernsts Theoretischer Chemie. Von *Leon Asher*, Bern. S. 193.

Helmholtz als Meteorologe. Von *R. Wengert*, Leipzig. S. 198.

Hydra und Alge in neuer Zellsymbiose. Von *W. Goetsch*, München. (Mit 2 Abbildungen) S. 202.

### Besprechungen:

Drygalski, Erich von, Das Eis der Antarktis und der subantarktischen Meere. Von *O. Baschin*, Berlin. S. 205.

Abel, Othenio, Die Methoden der paläobiologischen Forschung. Von *H. Bluntschli*, Frankfurt a. M. S. 207.

Halbfaß, Wilh., Grundlagen der Wasserwirtschaft. Von *Thürnau*, Darmstadt. S. 208.

Keilhack, K., Lehrbuch der Praktischen Geologie. 4. Auflage. Von *H. Cloos*, Breslau. S. 208.

Molisch, Hans, Mikrochemie der Pflanze. 2. Auflage. Von *K. Freudenberg*, Freiburg i. Br. S. 209.

Neuburger, Maximilian Camillo, Das Problem der Genesis des Actiniums. Von *L. Meitner*, Berlin Dahlem. S. 209.

Schäff, Ernst, Ornithologisches Taschenbuch für Jäger und Jagdfreunde. 3. Auflage. Von *Fritz Braun*, Danzig. S. 209.

Physiologische Mitteilungen. S. 210—213.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten. S. 213—215.

Astronomische Mitteilungen. S. 215—216.

# ZEISS

## MIKROSKOPE

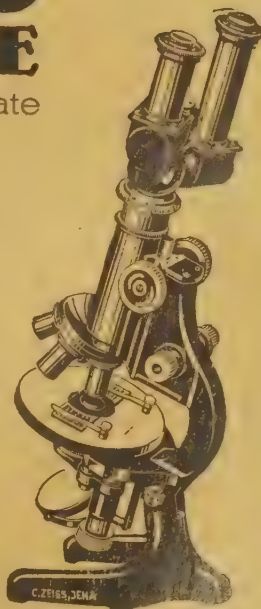
und mikroskopische Hilfsapparate



**Lupen**  
**Projektionsapparate**  
**Epidiaskope**  
**Photo - Objektive**

USW.

Druckschriften auf  
Wunsch kostenfrei



### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 40.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 4.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postscheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20x20 Julius Springer,  
für Anzeigen- u. Beilagenbeträge: Berlin Nr. 118933 Julius Springer,  
Konten: für alle übrigen Zahlungen: Berlin Nr. 11100 Julius Springer.

Man verlange  
Listen!



### Projektions-Apparate Liesegang

Hochkerziges

## Globoscop

entwirft scharfe, helle Lichtbilder nach jedem Papierbild. An jede elektrische Lichtleitung anzuschließen.

**Neue große Lichtbilder-Sammlung**  
aus allen Gebieten  
für Lehr- und Vortragszwecke!

**Ed. Liesegang, Düsseldorf**  
Brieffach 124

### Gross-Schmetterlinge der Erde

von Prof. Dr. Ad. Seitz. (258)



**Die Palaearkten sind vollständig.**

Bd. I Tagfalter z. Zt. vergr. Neudr. i. Frühjahr  
„ II Spinner u. Schwär. z. Zt. vergr.  
„ III Eulen gebunden 360 M.  
„ IV Spanner „ 220 „

Zur **Erleichterung der Anschaffung** liefere ich jeden einzelnen Band oder mehrere oder alle Bände gegen 10% ige Monatsraten. Anfragen erbeten an

**HERMANN MEUSSER, Buchhandlung**  
Berlin W 57/9, Potsdamer Straße 75.

### Naturwissenschaften

Jg. 1913—1921 cpl. und einzelne Jahrgänge

**Kauft**

(277)

**Walther Brinkmann, Leipzig-Schönefeld.**

### Schmetterlingssammlung, bek.

in orig. schönem Schranke, 17 Kästen 36 x 42 cm.

Über 1200 Expl. Seltene Gelegenheit.

(278)

Postlagerkarte 44. Berlin S 42.

### Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Soeben erschienen:

## Hermann v. Helmholtz Schriften zur Erkenntnistheorie.

Herausgegeben und erläutert von **Paul Hertz, Göttingen, und Moritz Schlick, Rostock.** Dem Andenken an Hermann v. Helmholtz zur Hundertjahrfeier seines Geburtstages. (X, 176 S.).

Preis M. 45.—; in Ganzleinen gebunden M. 54.— (und Teuerungszuschlag)

Inhalt:

I. Über den Ursprung und die Bedeutung der geometrischen Axiome. Erläuterungen. II. Über die Tatsachen, die der Geometrie zugrunde liegen. Erläuterungen. III. Zählen und Messen. Erläuterungen. IV. Die Tatsachen in der Wahrnehmung nebst zwei Beilagen. 1. Über die Lokalisation der Empfindungen innerer Organe. 2. Der Raum kann transzendental sein, ohne daß es die Axiome sind. 3. Die Anwendbarkeit der Axiome auf die physische Welt. Erläuterungen.



## Die Bedeutung der physikalischen Chemie für die Biologie mit besonderer Berücksichtigung von Nernsts Theoretischer Chemie.

Von Leon Asher, Bern.

Das Erscheinen der längst ersetzten zehnten Auflage von *Nernsts Theoretischer Chemie*<sup>1)</sup> ist auch für die Biologie ein Ereignis, weil dieses Werk wie wenige andere Aufhellung von einem Nachbargebiete für ihr eigenes geleistet hat. Und so mag es als dieses Werkes würdig erscheinen, die Besprechung desselben mit einem Überblick über die Bedeutung der physikalischen Chemie für die Biologie zu verknüpfen, wobei namentlich diejenigen Fragen berücksichtigt werden sollen, von denen man sagen kann, daß *Nernst* durch seine Forschertätigkeit auch der Biologie unserer Tage und nicht bloß seiner eigenen Wissenschaft angehört. Ehe wir aber hierauf eingehen, soll noch darauf hingewiesen sein, daß das *Nernstsche* Lehrbuch so recht eigentlich dasjenige Buch gewesen ist, welches die Biologen, deren Forschungsrichtung eine genauere Kenntnis der physikalischen Chemie bedingte, mit dieser Wissenschaft vertraut gemacht hat.

Die Beziehungen zwischen physikalischer Chemie und Biologie sind sowohl innere wie auch historische. Was die historischen betrifft, so sind die Probleme, deren Inangriffnahme durch *van't Hoff* die Schöpfung der modernen Ära der physikalischen Chemie bedeutete, Probleme, deren Aufstellung und weitgehende experimentelle Aufklärung dem Biologen *Pfeffer* verdankt wurde. Der Physiolog *Donders* hat schon im Jahre 1872 die Reaktion zwischen Hämoglobin, Sauerstoff und Oxyhämoglobin als einen Fall eines verschiebblichen Gleichgewichtes behandelt und der Physiolog *Carl Ludwig* hat mit dem ihm eigentümlichen Seherblick in seinem klassischen Lehrbuch der Physiologie vom Jahre 1858 bei der Diskussion der katalytischen Umsetzungsprozesse bemerkt: „es dürfte leicht dahin kommen, daß die physiologische Chemie ein Teil der katalytischen würde.“! Es ist mit zu den historischen Bedingtheiten zu rechnen, daß derjenige Forscher, welcher die umfassendste Pionierarbeit für die Anwendung der physikalischen Chemie in fast allen Zweigen der medizinischen Wissenschaft geleistet hat, Professor *H. J. Hamburger* in Groningen, ein Schüler von *Donders*, sein dreibändiges Werk im Jahre 1902 „Osmotischer

Druck und Ionenlehre in den medizinischen Wissenschaften“ genannt hat. Denn hierin wurde zum Ausdruck gebracht, daß *van't Hoffs* theoretische Aufklärung des von *Pfeffer* entdeckten osmotischen Druckes und *Svante Arrhenius'* Ionenlehre als Ecksteine für die Anwendung in der Biologie galten. *Nernsts* Lehrbuch ist von vorneherein auf den umfassenderen Standpunkt der Avogadroschen Regel und der Thermodynamik aufgebaut. Die Bearbeitung der Probleme, welche den Biologen interessieren, hat in unverkennbarer Weise den Anschluß gerade an diesen *Nernstschen* Standpunkt herbeigeführt.

Die am Materiellen sich abspielenden Lebenserscheinungen sind ihrem inneren Wesen nach dynamische. Aus diesem Grunde kann bei aller Anerkennung ihres Wertes die analytische und Konstitutionschemie als eine Wissenschaft des Statischen nur Vorarbeit an Außenwerken leisten; die Physik ihrerseits vermag allein auch nicht dem Biologischen gerecht zu werden, weil der Chemismus der Stoffwechselvorgänge zu tief in die Eigenart des Lebendigen hineinverwoben ist. Solche Erwägungen erleuchten mit einem Schlage, wie die Verbindungswissenschaft der physikalischen Chemie den besonderen Bedürfnissen der Biologie entgegenkommt. Die Biologie andererseits darf mit einiger Genugtuung darauf hinweisen, daß sie ihrerseits der physikalischen Chemie einen fast unerschöpflichen Reichtum von Tatsachen, Problemen und Anregungen darbietet.

*Nernst* beginnt die prinzipielle Grundlegung der theoretischen Chemie mit den Hauptsätzen der Wärmetheorie. Seine Formulierung der beiden ersten Hauptsätze:

$$U = A - Q$$

$$A - U = T \frac{dA}{dT}$$

ist nicht allein, wie ein Blick über die geläufigen Lehrbücher zeigt, die dem Biologen vertrauteste, sondern sie ist auch in der *Nernstschen* Art ihrer Sinnggebung in der Physiologie fruchtbar geworden. Auch ist es *Nernst* vorbehalten geblieben, den von *Helmholtz* entdeckten wichtigen Begriff der freien Energie, den dieser in seiner Arbeit zur Thermodynamik chemischer Vorgänge mit einer seinerzeit durchaus nicht gewürdigten Klarheit entwickelt hat, in seiner ganzen Bedeutung in den Vordergrund zu rücken. Die an den effektorischen Organen der Lebewesen sich abspielenden wichtigen biologischen Vorgänge, die Muskeltätigkeit, die Absonderung der Drüsen, der Betrieb des Kreislaufs und der Atmung sowie auch die bloße Bestandserhaltung des Lebendigen sind auf das engste mit chemischen Prozessen

<sup>1)</sup> Theoretische Chemie von *Walter Nernst*, 8.—10. Auflage, Stuttgart, Ferdinand Encke, 1921.

verknüpft, deren wesentliche Bedeutung in ihren energetischen Leistungen liegt. Die Gültigkeit des ersten Wärmesatzes gehört seit *Rubners* Arbeiten zu den nicht mehr der Diskussion bedürftigen Fundamenten der Biologie, sowohl mit Rücksicht auf alle Erscheinungen, die soeben genannt wurden, wie überhaupt für alles in den lebendigen Organismen Beobachtbare, soweit hierfür das materielle Gefüge in Betracht kommt.

Ein weit tiefer gehendes Interesse bietet dem Biologen die freie Energie dar, weil die vor seinen Augen sich abspielenden und der Experimentalforschung zugänglichen Vorgänge vornehmlich darin bestehen, daß freie Energie chemischer Reaktionen zur Umwandlung gelangt. Der experimentierende Biolog wird den Begriff der freien Energie oder der maximalen Arbeit gegenüber dem von anderen Autoritäten der Thermodynamik vornehmlich verwendeten Begriff der Entropie bevorzugen, weil jener, wie *Nernst* mit Recht hervorhebt, der anschaulichere ist. Sobald man sich darüber klar wurde, daß die Abnahme der freien Energie bei den chemischen Prozessen der eigentlich arbeitleistende Faktor sei, mußte die bis dahin vorherrschende Berechnungsmethode in der Biologie, die in Ermittlung der Kalorien, also des gesamten Energieumsatzes, gipfelte, einer Revision unterzogen werden. Da die Kenntnis der freien Energie der im Organismus in Betracht kommenden chemischen Reaktionen sowohl diejenigen der Anfangs- und Endzustände sowie der Reaktionskonstanten, welche letztere aber meist nicht bekannt sind, verlangt, stände die Biologie vor einer recht schwierigen Lage, wenn nicht das Nernstsche Wärmetheorem die Lösung der Aufgabe erleichtert hätte. *J. Báron* und *M. Polányi* haben in einer bemerkenswerten Arbeit über die Anwendung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik auf Vorgänge im tierischen Organismus (*Biochem. Ztschrft.* Bd. 53, 1913) erstens gezeigt, daß man die Veränderungen der freien Energie im Organismus auf Grund des Nernstschen Wärmetheorems erlangen kann; sie haben ferner die freie Energie bei Verbrennung des Zuckers, des Fettes und des Eiweißes mit Hilfe desselben ermittelt und gezeigt, daß die Veränderungen der freien Energie bei den genannten Reaktionen nahezu gleich den Wärmetönungen waren. Der Grund, weshalb sich kein großer Unterschied ergibt, ob man die freie Energie oder, nach dem Berthelotschen Prinzip, die größtmögliche Wärmeproduktion als das Maß der größtmöglichen Arbeitsleistung nimmt, liegt darin, daß es sich im tierischen Organismus angenähert um isotherme Prozesse bei niedriger Temperatur und um mehr oder weniger vollständige Gleichgewichte handelt. — Das, was die physikalische Chemie im engeren Sinne des Wortes als maximale Arbeitsleistung bezeichnet, ist vielfach Gegenstand physiologischer Untersuchung gewesen; *Otto Frank*, *Rohde*, *Weizsäcker* und *Lüscher* haben am Herzen, *A. V. Hill* am Skelett-

muskel experimentell die maximale Arbeit festzustellen versucht.

Eine der größten Schwierigkeiten, welche der glatten Übertragung der Sätze der physikalischen Chemie auf die Biologie gegenübersteht, liegt in den zeitlichen Verhältnissen der letzteren. Dieselben sind häufig so rasch, daß Reibung und sekundäre Wärmebildung einen recht erheblichen Betrag ausmachen, alles Faktoren, die man bei den reinlichen Ansätzen der Thermodynamik ausschaltet. Die genannte Schwierigkeit ist gerade der Fall bei der sonst am einfachsten berechneten Veränderung der freien Energie, nämlich bei den mechanischen Prozessen. Etwas anders steht es dort, wo der Organismus osmotische Arbeit leistet, wie beispielsweise bei der Bildung des Harnes durch die Niere. Diese osmotische Arbeit läßt sich nach dem Vorgange von *Dreser*, *Galleotti* und *Rohrer* berechnen, aber wir fassen damit nur einen Teil der wirklich in den Zellen geleisteten Arbeit, da die aus den Daten des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlensäurebildung ermittelte Größe der chemischen Arbeit einen weit größeren Betrag besitzt. — Auch eine andere in der Biologie viel diskutierte Frage, die nach dem sogenannten Wirkungsgrade, dem Verhältnis der mechanischen Arbeitsleistung zu dem kalorischen Werte der in Betracht kommenden chemischen Reaktionen, rückt durch die Nernstsche Fassung der thermodynamischen Lehrsätze in eine neue Beleuchtung. Geht man nämlich von der Veränderung der freien Energie aus, so erhält man einen ganz anderen Wirkungsgrad, für den *Báron* und *Polányi* die Bezeichnung thermodynamischer Nutzeffekt gewählt haben. *A. V. Hill* kam in seinen bedeutsamen Untersuchungen zur Thermodynamik des Muskels auf einem etwas anderen Wege zu einer ähnlichen Auffassung und erkannte, daß der Wirkungsgrad der tierischen Muskelmaschine ein viel größerer sein kann als man gewöhnlich annahm. Er gelangte zu der Auffassung, daß die freie Energie der im Muskel sich abspielenden chemischen Prozesse Spannung erzeugt und diese Muskelspannung, je nach den obwaltenden mechanischen Bedingungen, mehr oder weniger vollständig in mechanische Arbeit umgesetzt werden könne.

Die Lehre vom chemischen Gleichgewicht und von der chemischen Kinetik ist in der Art und Weise, wie dieses Gebiet von der modernen physikalischen Chemie erschlossen worden ist, für die Biologie von weittragender Bedeutung geworden. An dieser Stelle kann es sich nur darum handeln, diese Behauptung durch ein Beispiel von allgemeinerer Bedeutung zu belegen. Die Dissoziation der Elektrolyte in Ionen fügt sich dem Massenwirkungsgesetz, und die rechnerische Anwendung desselben hat eine große Reihe von elektrolytischen Dissoziationsercheinungen, wie sie im tierischen Organismus vorkommen, klargelegt. Der Biologie ist hiermit um so mehr



gedient, als die Ionen eine sehr große Rolle in den Lebenserscheinungen spielen. Seitdem als die ersten *Jacques Loeb* für die Dynamik der Lebenserscheinungen, wie sie beispielsweise in der Muskelkontraktion, in der Nervenregung, in einer großen Reihe von rhythmischen Vorgängen und in der geschlechtlichen und in der parthenogenetischen Entwicklung des Eies, und *Hofmeister* und seine Mitarbeiter für die physikalisch-chemischen Eigenschaften des maßgebenden kolloidalen Baumaterials des Organismus die hohe Bedeutung der Ionen erkannt hatten, gehört die Lehre von den Ionenwirkungen zu den grundlegenden Abschnitten der allgemeinen Physiologie. Unter den Ionen sind es wiederum die Wasserstoffionen, welchen in der Biologie eine Vorzugsstellung zukommt. Sowohl das Material, aus denen das lebendige Gefüge besteht, wie auch die Vorgänge, in denen sich die Leistungen desselben offenbaren, sind auf das feinste auf bestimmte Wasserstoffionenkonzentration eingestellt. Es zeigt sich, daß ganze große Körperfunktionen mit der Erhaltung einer angenähert neutralen Reaktion innerhalb der tierischen Säfte und Zellen betraut sind, eine Leistung, die man als *Neutralitätsregulation im Organismus* bezeichnet. Die physikalisch-chemische Basis dieser Neutralitätsregulation weitgehend aufgeklärt zu haben, ist vornehmlich das Verdienst von *Lawrence-Henderson* und *Karl Spiro*, welche durch sinngemäße Anwendung des Massenwirkungsgesetzes und durch Aufdeckung der Puffer- oder Moderator-Wirkung der Karbonate und Phosphate unseren heutigen Anschauungen das feste Fundament gegeben haben. Angesichts dieses Sachverhaltes ist es begreiflich, daß die Biologie ein Bedürfnis nach einer sicheren Methodologie der Wasserstoffionenkonzentration hat, ein Bedürfnis, dem das bekannte schöne Buch von *Michaelis* „Die Wasserstoffionenkonzentration“ (Berlin, Julius Springer, 1914) Rechnung trägt. An den hierfür notwendigen Grundlagen war es wiederum *Nernst*, der bahnbrechend gewirkt hat. Unter seiner Leitung sind zuerst Puffergemische hergestellt worden, die es ermöglichen, beliebig kleine, dabei aber wohl definierte Wasserstoffionenkonzentrationen herzustellen und konstant zu erhalten, und Indikatoren verwandt worden, deren Farbumschlag bei einer definierten Wasserstoffionenkonzentration eintritt. Die Nernstsche osmotische Theorie der galvanischen Stromerzeugung ist die Basis geworden, auf welcher sich die Messung der Wasserstoffionenkonzentrationen der tierischen Säfte vermittelt der Konzentrationsketten aufgebaut hat.

Das Interesse des Biologen an den Wasserstoffionen wird noch erhöht, wenn die sich jetzt abbahnende Auffassung sich endgültig bestätigen sollte, daß Änderung der Wasserstoffionenkonzentration für den Erregungsvorgang verantwortlich sei, denn z. Zt. sieht die Biologie in der Befähigung erregt zu werden, eine der charakterisier-

rendsten Eigenschaften des Lebendigen. Deshalb hat man sich auch seit den klassischen Tagen der Physiologie von jeher bemüht, Gesetze der Erregung aufzustellen, Gesetze, die allerdings meist der späteren Kritik gegenüber nicht haben Bestand halten können. Aber ein Erregungsgesetz besitzen wir, welches innerhalb der Grenzen, für welche es aufgestellt wurde, den Tatsachen gerecht wird und zudem noch durch seine Konsequenzen befruchtend gewirkt hat, und das ist das *Nernstsche Erregungsgesetz*. Es ist natürlich ein physikalisch-chemisches. *Nernst* fand, daß wie für Polarisation in Leitern zweiter Klasse so auch für den Schwellenwert der minimal erregenden Stromstärke bei zunehmender Frequenz des Reizstromes am Nerven die Beziehung besteht, daß der Bruch  $\frac{i}{\sqrt{n}}$  einen konstanten Wert behält. *Keith Lucas* und *A. V. Hill* haben sehr komplizierte Verhältnisse der Erregungsvorgänge am Nerven und Muskel durch Anwendung dieses Gesetzes dem Verständnis näher bringen können. *Brömsers* jüngste, höchst beachtenswerte Theorie über die Abhängigkeit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven vom osmotischen Druck der Lösung, in welcher sich der Nerv befindet, steht mit den Konsequenzen des Nernstschen Gesetzes im Zusammenhang. Von diesen Konsequenzen sei eine als für die Theorie der Lebenserscheinungen schwerwiegendste hervorgehoben: Die enge Verknüpfung von Ionen-gesetzmäßigkeiten mit exquisiten Lebenserscheinungen räumt den Ionen einen Rang ein, der es zum mindesten als einseitig erscheinen läßt in der Komplikation organisch-chemischer Struktur, ja, vielleicht auch sogar in dem des jetzt bevorzugten kolloidalen Zustandes das wesentliche Element des lebendigen Geschehens zu sehen.

Nach der gleichen Richtung deuten Erfahrungen über *Ionengleichgewichte*, welche in dem Institut des Altmeisters der physikalisch-chemischen Forschung in der Biologie, Professor *Hamburger* in Groningen, vor kurzem gemacht worden sind. Unter den vielen wunderbaren Permeabilitätstatsachen der tierischen Zellen ist eine der wunderbarsten die, daß die normale Nierenzelle für Traubenzucker undurchlässig ist, obwohl sie von Blut mit frei gelöstem Zucker umspült wird, und daß schon sehr geringe Alterierungen, die weder mit morphologischen noch mit anderen Methoden sichtbar gemacht werden können, die Nierenzelle zuckerundicht machen. Die Groninger Schule konnte nun zeigen, daß die Zuckerdichtigkeit, abgesehen von einer bestimmten *Zuckerkonzentration*, abhängig ist von einem ganz bestimmten *Calciumionengleichgewicht*. Es ist klar, daß man diese Calciumionenwirkung als eine fein abgestimmte Wirkung auf die Kolloide der Nierenzelle ansehen kann, genau so, wie man vielfach geneigt ist, die zahlreichen älteren Erfahrungen über Natrium-, Kalium- und

Calciumionen als Kolloidwirkung zu deuten. Demgegenüber erscheint aber der Standpunkt nicht ungerechtfertigt, mit besonderem Nachdruck auf die größere dynamische Leistungsfähigkeit gerade der Ionen hinzuweisen.

Neben den Ionen seien noch die *Enzyme* als ein Beispiel aus der Biologie genannt, wo die Anwendung der chemischen Kinetik außerordentlich befruchtend gewirkt hat, und das gleiche gilt von den sonstigen Stoffen, die in der praktisch so wichtigen Immunitätslehre eine Rolle spielen. Insofern besteht eine gewisse Verwandtschaft mit dem vorher ausführlich behandelten Beispiel, als, wie *Hans Euler*, einer der besten Kenner der Chemie der Enzyme, jüngst bemerkte, gerade in letzter Zeit in der Enzymologie bemerkenswerte Erfolge durch elektrochemische Meßmethoden und durch die theoretische Behandlung der Enzyme als Elektrolyte erzielt worden sind. — In recht engem Zusammenhang mit den von uns behandelten Beispielen stehen Probleme, die von jeher ein Lieblingsgebiet biologischer Forschung gewesen sind, und das sind die *bioelektrischen Ströme*. Eine Generation von Forschern, darunter einige Meister der modernen Ära der Physiologie, hat mit hingebender Arbeit sich dem Studium dieser Erscheinungen gewidmet, und trotzdem die Physiologie und auch die Nachbarwissenschaften diesen Arbeiten unendlich viel verdanken, ist doch das Ergebnis hinsichtlich des eigentlichen Zieles dieser Arbeiten, nämlich der Aufklärung der Potentialdifferenzen unter den Verhältnissen der tierischen Gewebe, ein unbefriedigendes gewesen. Den Grund hierfür vermögen wir jetzt einzusehen: die fehlende Möglichkeit einer streng begründeten physikalisch-chemischen Betrachtungsweise. Hier setzt der Umschwung ein, sobald *Nernst* seine osmotische Theorie der stromerzeugenden Lösungen und der galvanischen Stromerzeugung aufgestellt hatte. Man erkannte, daß die Ansätze, welche *Nernst* gemacht hatte, um die Potentialdifferenzen in elektrolytischen Lösungen zu berechnen, in den Bedingungen, wie sie im Organismus obwalten, wieder auffindbar sind. Denn es handelt sich darum, Potentialdifferenzen von nicht unerheblichem Betrage in Systemen abzuleiten, in denen nur Leiter zweiter Klasse vorkommen, metallische Elektroden fehlen. Das Hineintragen eines weiteren physikalisch-chemischen Gesichtspunktes hat wesentlich mit geholfen, die Größe und die zeitlichen Verhältnisse der elektromotorischen Kräfte, in Nerven, Muskeln, Drüsen und Sinnesepithelien durch theoretische Vorstellungen verständlich zu machen, die experimentell prüfbar sind und im Einklang mit dem stehen, was wir über die Eigenschaften lebendiger Gebilde wissen. In erster Linie wäre hier die Heranziehung der Eigenschaften von nur teilweise für Ionen permeablen Membranen zu nennen. Nachdem zuerst *Ostwald* die Idee geäußert hatte, daß, weil die tierischen Membranen als Ionen-

siehe aufgefaßt werden können, hierin die Entstehung der Potentialdifferenzen gesucht werden könne, hat dann *Eduard Bernstein* der Membrantheorie durch eine ausgezeichnete Behandlung der thermodynamischen Beziehungen sowie durch eine auf reiche Erfahrung gestützte experimentelle Bearbeitung so gesicherte Grundlagen verschafft, daß sie zurzeit allen Anforderungen einer guten Theorie entspricht. Man hätte vielleicht früher auf diese den älteren weit überlegene Vorstellung gelangen können, wenn man die von *Helmholtz* schon im Jahre 1882 durchgeführte thermodynamische Ableitung der elektromotorischen Kräfte angewendet hätte. Die historische Entwicklung hat hier wiederum einer Bemerkung von *Nernst* in seinem Lehrbuch recht gegeben, daß diese Art der thermodynamischen Forschungsmethode keine anschaulichen Ergebnisse liefert. Erst nachdem durch die osmotische Theorie von *Nernst* der Blick des Biologen geschärft worden war — es liegt in der Natur der Biologie, daß sie viel weniger als etwa die theoretische Physik auf die Anschauung verzichten kann —, konnte *Bernstein* das ältere Helmholtzsche thermodynamische Prinzip für die Biologie fruchtbar machen. Von *Nernst* selbst wurde in Gemeinschaft mit *Riesenfeld* ein physikalisch-chemischer Vorgang zur Erklärung der Potentialdifferenzen herangezogen, und das ist die Verteilung von Ionen an der Grenzfläche zweier nicht oder schlecht mischbaren Lösungsmittel. Da man zwei solche Flüssigkeiten als zwei verschiedene Phasen ansehen kann, so hat man die hierbei entstehenden Potentialdifferenzen *Phasengrenzkräfte* genannt. Die aus der Theorie erchenbare Größe der Potentialdifferenzen steht in Übereinstimmung mit den tatsächlich gemessenen Potentialdifferenzen in Muskel und Nerven. Die Theorie besagt ferner, daß, wo an der Phasengrenze gerade der Übergang von der neutralen zur sauren oder alkalischen Reaktion stattfindet, der Potentialsprung besonders groß ist. Nun haben wir oben schon darauf hingewiesen, daß sehr vieles dafür spricht, daß die Entstehung einer Wasserstoffionenkonzentrationsverschiebung den Erregungsprozeß einleitet. So dann handelt es sich tatsächlich im tierischen Organismus um ein Nebeneinander von mehr oder weniger nicht mischbaren Lösungsmitteln oder Phasen. Auch die modernste Theorie über die Entstehung der Potentialdifferenzen in tierischen und pflanzlichen Geweben, die Theorie von *Loeb* und *Beutner*, baut sich auf der experimentellen Reproduktion der bioelektrischen Ströme in einem zweiphasigen System auf, dessen eine Phase aus den aus den Zellen extrahierten Lipoiden besteht.

Wenn wir des längeren bei den Elektrolyten und was damit zusammenhängt verweilen, so sei nochmals scharf betont, daß es sich um ein Beispiel gehandelt hat, worauf sich naturgemäß ein Zeitschriftenaufsatz beschränken muß, der ein großes, nicht erschöpf-



bares Gebiet zu behandeln hat. Die chemische Statik und Kinetik und die Thermochemie, die in *Nernsts* Lehrbuch eine so vorbildliche Darstellung erfährt, ist auf die Gesamtheit der zahlreichen chemischen Vorgänge im Organismus anwendbar. Nur insofern als die elektrischen Prozesse im Organismus immer noch die einzigen sind, wo wir mit den Methoden der exakten Wissenschaft den Erregungsvorgängen näher kommen können, besitzen sie eine gewisse Vorzugsstellung. Bei dieser Bedeutung der Elektrizität hat auch die jüngste Entwicklung der Physik und der physikalischen Chemie, wie sie sich in der *Lehre von der Atomstruktur und der Radioaktivität* ausspricht, nicht geringes Interesse. Die Abschnitte der neuen Auflage von *Nernst*, in denen er zum erstenmal Gelegenheit hat die einschlägigen Fragen zu behandeln, werden vom Biologen wegen der leuchtenden Klarheit und wegen der Bestimmtheit, mit der das Wesentliche mit vorsichtiger Kritik plastisch herausgearbeitet ist, dankbar durchstudiert werden. Dieses neu erschlossene Gebiet hat ja schon in biologischen Untersuchungen zu höchst interessanten Ausblicken Gelegenheit gegeben. *Zwaardemaker* und seine Mitarbeiter haben in einer größeren Reihe von Untersuchungen auf die Bedeutung hingewiesen, welche das in geringfügigen Mengen vorhandene Kalium infolge seiner Radioaktivität für die Leistungen der lebendigen Gewebe haben könne. Wird z. B. das überlebend schlagende Herz mit kaliumfreien Lösungen perfundiert, so hört bald die Schlagfähigkeit desselben auf, die sofort aber wieder auftritt, wenn man das Kalium durch eine ganze Anzahl von Stoffen gleich starker Radioaktivität ersetzt, Stoffe, die im Organismus überhaupt nicht vorkommen und die, abgesehen von ihrer Radioaktivität, chemisch in keinerlei Verwandtschaft mit dem Kalium stehen. Bei Untersuchung der biochemischen Eigenschaften von Eiweißkörpern stieß *Jacques Loeb* auf chemisch unerklärliche Abweichungen des Einflusses bestimmter Ionen, Abweichungen, für die er eine plausible Erklärung in der verschiedenen Größe des Atomradius im Sinne der neueren Lehre von der Atomstruktur geben konnte. Unbeschadet der Kontroversen, die namentlich im Anschluß an die Arbeiten von *Zwaardemaker* entstanden sind, illustrieren wohl die beiden genannten Beispiele in genügender Weise die Anregung, welche die Biologie aus den allerjüngsten Entwicklungen der physikalischen Chemie gewonnen hat.

Wir hatten vorhin Gelegenheit, einer recht nützlichen Anwendung des Verteilungssatzes zu gedenken. Der *Berthelotsche Verteilungssatz* ist erst von *Nernst* zum rechten Leben erweckt worden, und er hat, wie er an mehreren Stellen seines Lehrbuchs darlegt, schon frühzeitig sich desselben bedient, um Verhältnisse des chemischen Gleichgewichtes klarzulegen, wie auch um die Konstitution der Materie zu erkennen. Die

Anwendung des Verteilungssatzes im Nernstschen Sinne auf das biologische Geschehen gehörte zu den folgenschwersten Neuerungen. Sie geschah unabhängig voneinander durch *Paul Ehrlich* und *Karl Spiro*. Sobald ein Stoff in den Organismus eingeführt wird, ist ihm Gelegenheit geboten, sich zwischen den verschiedenen Lösungsmitteln, die im Organismus vorhanden sind, zu verteilen. Der Mechanismus der Narkose, das Selektionsvermögen der einzelnen Körperzellen, die vitale Färbung, die Speicherung physiologischer und pharmakologischer Stoffe, sowie generell die pharmakodynamischen Wirkungen der Mittel der Pharmakologie, Toxikologie und insbesondere auch der Immunstoffe kann auf das fruchtbarste unter den Gesichtspunkten, zu welchen der Verteilungssatz Veranlassung gibt, beleuchtet werden.

Die den Biologen so sehr interessierende Verteilung ist nahe verwandt mit einer anderen physikalisch-chemischen Erscheinung, der *Adsorption*, bei der nach *Nernst* wir es ähnlich wie bei der Verteilung eines Stoffes zwischen zwei Lösungsmitteln mit einem rasch sich einstellenden Gleichgewicht zu tun haben. Die Betrachtung biochemischer Reaktionen als Adsorptionsvorgänge hat seit *Freundlichs* wegleitendem Werk, die *Capillarchemie* (Leipzig 1909, Akademische Verlagsgesellschaft) erheblich an Boden gewonnen, namentlich auch bei den recht verwickelten Vorgängen der Immunochemie. Bemerkenswerterweise hat *Nernst* selbst gegen die Übertragung der Prinzipien des chemischen Gleichgewichtes auf die Reaktionen zwischen Toxinen und Antitoxinen seine warnende Stimme erheben müssen. Der Umstand, daß die Stoffe in den lebendigen Organismen so vielfach im kolloidalen Zustand sich befinden, trägt nicht wenig dazu bei, der Verteilung und der Adsorption ein weites Anwendungsgebiet zu sichern. Alles Wesentliche, was sich zurzeit über den kolloidalen Zustand sagen läßt, ist von *Nernst* in klarster Weise in elf Seiten seines Lehrbuchs dargelegt, eine vielleicht auffallende Knappheit, wenn man an den breiten Umfang denkt, den die Behandlung des kolloidalen Zustandes in der mehr biologisch gerichteten Fachliteratur einnimmt. Der Unterschied rührt zum Teil daher, daß die Nernstsche ganz auf das Dynamische gerichtete Betrachtungsweise Tatbestände, die sonst in der Kolloidchemie besprochen werden, unter die Gesichtspunkte der Lehre von der chemischen Kinetik und der Thermochemie einreihet. Vielleicht wird auch zurzeit in der Biologie die allgemeine Kolloidchemie zu hoch bewertet. Spezifizität im Aufbau gehört zu den auszeichnenden Eigenschaften des Lebendigen, eine Spezifizität, welche notwendigerweise in einer allgemeinen Kolloidchemie verwischt werden muß. Es dürfte bald die Zeit kommen, wo in der biologischen Kolloidlehre eine ähnliche Wendung eintritt, wie ehemals in der Eiweißchemie geschah, in welcher letzterer man erkennen lernte, daß das biologisch Wich-

tigste nicht in dem Allgemeinen, sondern in der ungeheuren Wechselfülle des Speziellen läge. Vor nicht allzu langer Zeit hat *Sörensen* mit großem Erfolg neue Gesichtspunkte in die experimentelle Erforschung kolloidaler Eigenschaften des Eiweißes hineingetragen.

Wie in der Einleitung dieses Aufsatzes gesagt wurde, gab die Neuauflage von *Nernsts* Theoretischer Chemie die Anregung zu unserer Betrachtung über die Bedeutung der physikalischen Chemie für die Biologie. Sie war daher auch nach der Gedankenrichtung orientiert, die außer *van't Hoff* vornehmlich *Nernst* der physikalischen Chemie aufgeprägt hat. Nächste den inneren, im Wesen des Biologischen liegenden Gründen, wird das *Nernstsche* Lehrbuch selbst dazu beitragen, diese Gedankenrichtung weiter in der Biologie lebendig zu erhalten.

### Helmholtz als Meteorologe.

Von R. Wenger †, Leipzig.

Von *Helmholtz'* Beziehungen zur Meteorologie dürften selbst manche Meteorologen kaum mehr wissen, als daß er die Wellen an der Grenzfläche übereinander gleitender Luftmassen verschiedener Dichte — die „*Helmholtzschen* Luftwogen“ — entdeckt und dadurch die Grundlage zur Erklärung der bekannten Erscheinung der Wogenwolken geliefert hat. Wir werden im folgenden zu zeigen versuchen, daß *Helmholtz* zwar nicht ein Wegweiser auf meteorologischem Gebiet genannt werden kann — denn es fehlten die, die sich den Weg hätten weisen lassen —, wohl aber, daß er einer der Männer war, die bis heute am tiefsten in den Mechanismus der Atmosphäre hineingeblickt haben.

*Helmholtz* hat erst im reiferen Alter begonnen, sich mit meteorologischen Fragen zu beschäftigen. Seine erste meteorologische Publikation, der Vortrag „*Wirbelstürme und Gewitter*“, stammt aus dem Jahre 1875 (1)<sup>1)</sup>. Gleich hier fesselt die Art der Fragestellung. Die letzte Ursache aller Witterungsvorgänge, so meint *Helmholtz* etwa, ist zweifellos in der Bestrahlung der Erde durch die Sonne zu suchen. Diese durchläuft Jahr für Jahr dieselben, durch astronomische Verhältnisse bedingten Änderungen. Demnach würde zu erwarten sein, daß auch das Wetter an einem Orte jedes Jahr denselben Ablauf zeigt. Annähernd so ist es ja auch in den Tropen und Subtropen. In unseren Breiten aber ist, wie jeder weiß, der Witterungsverlauf oft ein so unregelmäßiger, daß er viel eher den Launen des Zufalls, als festen Gesetzen zu folgen scheint. Worauf ist diese seltsame Erscheinung zurückzuführen? So viel Mühe und Rechenarbeit die Meteorologen schon verwendet hatten, um den scheinbar regel-

losen Schwankungen durch Bildung von Mitteln und Aufsuchung von Perioden Herr zu werden — in dieser Form war die Frage noch nie gestellt worden.

*Helmholtz* weist zunächst den Gedanken ab, als ob die unregelmäßige Verteilung von Wasser und Land, die unregelmäßige Oberflächengestaltung des letzteren, mit einem Wort: die komplizierten Grenzbedingungen, die wesentliche Ursache dieser Erscheinung sein könnten. In den Gezeiten, meint er, haben wir eine andere Erscheinung vor uns, die von periodisch wechselnden äußeren Einflüssen, nämlich den Anziehungskräften von Mond und Sonne, beherrscht wird. Auch hier sind die Grenzbedingungen — wegen der Unregelmäßigkeit der Meeresbecken — so kompliziert, daß eine exakte Berechnung nach den Gesetzen der Hydrodynamik nicht gelingt. Trotzdem bleiben die bekannten Perioden der wirkenden Kräfte in den Beobachtungen so gut erkennbar, daß man durch Extrapolation derselben sogar Fluttabelle für die Zukunft aufstellen kann, die den Bedürfnissen der Schifffahrt genügen. Entsprechendes müßte auch für die Atmosphäre möglich sein, wenn die Unregelmäßigkeit der Erdoberfläche allein die Erscheinungen verwickelte.

Die wahre Ursache für den launenhaften Charakter des Wetters ist nach *Helmholtz* in dem Vorkommen labiler Gleichgewichtszustände in der Atmosphäre zu suchen. Solche liegen dort vor, wo dampfgesättigte Luftmassen an ihrer oberen oder einer ihrer seitlichen Begrenzungen mit trockener Luft in Berührung sind. Wenn in einem Teile der gesättigten Luftmasse aus einem an sich geringfügigen äußeren Anlaß eine Bewegung nach oben eintritt, so wird Kondensation einsetzen. Die frei werdende Kondensationswärme erwärmt die Luft über die Temperatur der trockenen Umgebung, so daß sie von nun an spontan aufsteigt und weitere feuchte Luft nach sich zieht, die dasselbe Schicksal erleidet, während der frei werdende Raum von der trockenen Luft ausgefüllt wird. Auf solche Vorgänge, die bis zur Erreichung eines neuen, stabilen Gleichgewichtszustandes fort dauern, sind nach *Helmholtz* die Wirbelstürme der Tropen und die Gewitter zurückzuführen.

Der Eindruck des Zufälligen im Witterungsverlauf entsteht nun nach *Helmholtz* dadurch, daß sich die geringfügigen Anlässe, die die Auslösung solcher Vorgänge bewirken, unserer Wahrnehmung entziehen. Das Zufällige ist also nach ihm nur subjektiv und wird durch die Unvollkommenheit unserer Einsicht vorgetäuscht.

Die Aussichten für eine exakte, auf den Gesetzen der Hydro- und Thermodynamik beruhende Vorausberechnung des Wetters werden von *Helmholtz* auf Grund dieser Überlegungen nicht günstig beurteilt. Hier seine eigenen Worte: „Wir können nur solche Vorgänge in der

<sup>1)</sup> Die eingeklammerten Zahlen weisen auf das Literaturverzeichnis am Schluß hin.



Natur vorausberechnen . . ., bei denen kleine Fehler im Ansatz der Rechnung auch nur kleine Fehler im Endergebnis hervorbringen. Sobald labiles Gleichgewicht sich einmischt, ist diese Bedingung nicht mehr erfüllt.“ —

Nach den bisherigen Überlegungen wäre eigentlich zu erwarten, daß das Wetter dort am unregelmäßigsten und launenhaftesten wäre, wo die Luft am meisten Wasserdampf enthält, also in der Tropenzone. Wenn nun auch diese der Sitz der unversehens und mit ungeahnter Gewalt hereinbrechenden Wirbelstürme ist, so sind diese Erscheinungen am einzelnen Ort doch selten. In den Zwischenzeiten läuft das Wetter, wie bekannt, in den Tropen viel regelmäßiger ab als in unseren Breiten. Es ist deshalb von höchstem Interesse, daß *Helmholtz* in zwei späteren theoretischen Abhandlungen „Über atmosphärische Bewegungen“ (3 und 4) das Vorkommen anderer labiler Gleichgewichtszustände in der Atmosphäre nachwies, die rein mechanischer Art sind und namentlich in den mittleren Breiten zur Auslösung kommen.

In der ersten dieser Abhandlungen geht *Helmholtz* von dem von ihm selbst aufgestellten Prinzip der geometrisch ähnlichen Bewegungen aus. Dieses Prinzip, das die Bedingungen feststellt, unter denen in verschiedenen Medien und bei verschiedenen Abmessungen der den bewegten Medien zur Verfügung stehenden Räume geometrisch ähnliche Bewegungen möglich sind, ist neuerdings auch für den Schiff- und Flugzeugbau von größter Bedeutung geworden. Denn es gestattet, die an kleinen Modellen gemessenen Werte für Widerstand, Auftrieb usw. auf die größeren Dimensionen der endgültigen Ausführungsform zu übertragen. Aus dem genannten Prinzip folgt, daß die Bewegung von Flüssigkeiten und Gasen um so weniger dem Einfluß der Reibung unterliegt, je größer die Räume sind, in denen die Bewegung vor sich geht. Diese Folgerung ist natürlich von größter Wichtigkeit für die dynamische Meteorologie. Denn sie gestattet, die in der Dynamik reibungsloser Flüssigkeiten gewonnenen Resultate weitgehend auf die Bewegungen der Atmosphäre zu übertragen. *Helmholtz* benützt a. a. O. das Prinzip zu einer Schätzung der Zeit, die erforderlich wäre, damit sich die Geschwindigkeit einer die ganzen Atmosphären durchsetzenden Luftströmung infolge von innerer Reibung auf die Hälfte des Anfangswertes ermäßigt. Wenn für die innere Reibung derjenige Wert eingesetzt wird, der im Laboratorium aus Durchströmungsversuchen u. dgl. gefunden wurde, so folgen als untere Grenze für jene Zeit zirka 40 000 Jahre.

Hier erhebt sich nun eine eigentümliche Schwierigkeit. Wir haben sichere, hier nicht näher zu erörternde Beweise dafür, daß ein ständiger Luftaustausch zwischen den Tropen und den gemäßigten und höheren Breiten stattfin-

det<sup>2)</sup>, der allgemeine Kreislauf der Atmosphäre. Betrachten wir nun ein Luftteilchen, das etwa in der äquatorialen Calmenzone aufgestiegen ist und sich anschießt, in größerer Höhe über der Erdoberfläche dem Pole zuzustreben. Zuzufolge des Satzes von der Erhaltung der Rotationsmomente der Geschwindigkeiten wird sich dabei die Geschwindigkeit, mit der es um die Erdachse herumläuft — gemessen nicht in bezug auf die rotierende Erde, sondern auf ein mit dem Fixsternsystem fest verbundenes Koordinatensystem —, in demselben Verhältnis vergrößern, in dem sich sein senkrechter Abstand von der Erdachse verkleinert. Eine einfache Rechnung ergibt, selbst unter der Voraussetzung, daß das Teilchen anfangs relativ zur Erde in Ruhe war, schon für verhältnismäßig geringe Polwärtsverschiebungen außerordentlich große West-Ost-Geschwindigkeiten relativ zur rotierenden Erde: bei einer Verschiebung vom Äquator nach 10° Breite eine West-Ost-Geschwindigkeit, d. h. einen Westwind von 14 m/sec, nach 20° Breite einen solchen von 57 m/sec und nach 30° Breite einen solchen von 129 m/sec. Die an zweiter Stelle genannte Geschwindigkeit kommt höchstens einmal in tropischen Orkanen, die zuletzt genannte überhaupt nicht in der Atmosphäre vor. Es läßt sich auch leicht zeigen, daß solche Geschwindigkeiten starke, zum Äquator rücktreibende Kräfte nach sich ziehen müßten, die jedes weitere Vorrücken der Luft nach dem Pol unmöglich machen würden.

Ähnlichen Schwierigkeiten begegnet der Versuch der polaren Luftmassen, in niedrigere Breiten vorzudringen, wobei sie gegenüber der Erde zurückbleiben, d. h. als Ostwind auftreten müssen.

Die Frage ist nun, wodurch diese außerordentlichen Geschwindigkeiten so gedämpft werden, daß trotzdem ein Luftaustausch zwischen den höheren und niederen Breiten möglich wird. Die innere Reibung kann das, wie die früher erwähnte Überschlagsrechnung von *Helmholtz* zeigt, nicht leisten.

Die Antwort, die *Helmholtz* auf diese Frage gibt, ist folgende: Zwischen den Luftmassen nördlichen und südlichen Ursprungs finden ausgedehnte Mischungen statt. Damit ist nicht nur ein Ausgleich der thermischen Eigenschaften, sondern auch ein solcher der Rotationsmomente der Bestandteile verbunden. Das Mischprodukt wird deshalb imstande sein, eine größere Breitenänderung durchzumachen, als es die Bestandteile für sich gekonnt hätten. Natürlich wird das Vordringen der Mischung auch bald zum Stillstand

<sup>2)</sup> Neuerdings ist mehrfach die Ansicht laut geworden, daß der Kreislauf der Tropenzone in sich geschlossen sei und folglich auch die außertropischen Breiten der beiden Halbkugeln je einen in sich geschlossenen Kreislauf haben. Indessen zeigt eine leichte Überlegung, daß diese Auffassung fehlerhaft sein muß, da sich auf dieser Grundlage unmöglich die durchgängige West-Ost-Drift der Atmosphäre in den außertropischen Breiten erklären läßt.

kommen, aber neue Mischungen mit benachbarten Luftmassen folgen, neues Vorrücken usw. Derart wird, in einer ziemlich mühsamen Weise, sozusagen durch Etappen, ein Verkehr zwischen den verschiedenen Zonen aufrecht erhalten.

Wir werden heute sagen müssen, daß der Ausgangspunkt der Überlegung von *Helmholtz*, die angeblich überaus geringfügige Wirkung der inneren Reibung auf die Luftbewegungen, nicht ganz einwandfrei ist. Wir wissen jetzt, daß infolge der Turbulenz die Dämpfung der Luftbewegungen außerordentlich viel, etwa 300 000 mal größer ist, als *Helmholtz* annehmen zu müssen glaubte. Trotzdem darf unseres Erachtens die Rolle der Luftmischung in der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre nicht unterschätzt werden. Alle Anzeichen sprechen vielmehr dafür, daß Turbulenzreibung und Mischung zusammenwirken zur Erhaltung einer dauernden Verbindung zwischen niederen und höheren Breiten.

Zur näheren Untersuchung dieser Mischungsvorgänge hat *Helmholtz* zuerst die Bedingungen aufgestellt, unter denen koaxiale Luftringe von verschiedenem Rotationsmoment und potentieller Temperatur<sup>3)</sup> miteinander im Gleichgewicht sein können. Unter der den tatsächlichen Verhältnissen entsprechenden Voraussetzung, daß der äquaturnähere Ring das größere Rotationsmoment und die höhere potentielle Temperatur hat, ergibt sich, daß Gleichgewicht möglich ist, falls die Grenzfläche zwischen beiden Ringen von der Erdoberfläche in der Richtung nach dem Pole zu ganz sanft ansteigt. Unter den praktisch vorkommenden Verhältnissen beträgt ihr Neigungswinkel gegen den Horizont nur einige Bogenminuten. Die Ringe liegen also mehr übereinander als nebeneinander, wie die Ziegel eines Daches oder die Ringe eines Harnüschs, und zwar der potentiell wärmere über dem kälteren. Wenn ein von einem steigenden Ballon oder Drachen getragener Thermograph die Grenzfläche passiert, wird ein plötzlicher Temperaturanstieg registriert werden. Es ist die Erscheinung, die die heutige Aerologie als „Temperaturinversion“ bezeichnet. Man kann ohne Übertreibung sagen, daß *Helmholtz* diese Erscheinung, die damals nur aus den Gebirgsgegenden bekannt war und für eine Eigentümlichkeit derselben gehalten wurde, auf theoretischem Wege auch für die freie Atmosphäre vorhergesagt hat. Durch Beobachtung nachgewiesen wurde sie einige Jahre später anlässlich der

von *Aßmann* organisierten Berliner wissenschaftlichen Luftfahrten.

Die obige Gleichgewichtsüberlegung läßt sich, indem man die Luftringe unendlich dünn werden läßt, auch auf den Fall stetig veränderlicher Temperaturen und Rotationsmomente anwenden. Es ergibt sich, daß im dynamischen Gleichgewicht die potentielle Temperatur nach oben zu wächst, oder mit anderen Worten, daß die vertikale Temperaturabnahme in der Atmosphäre der rotierenden Erde jedenfalls kleiner als  $1^\circ$  pro 100 m sein muß. Dieses Resultat löst manche Schwierigkeiten, denen man bei der Deutung der durch Beobachtung gefundenen vertikalen Temperaturgradienten begegnet ist. Es deutet darauf, daß man die Ursache für die tatsächlich vorgefundenen geringeren Temperaturgradienten wesentlich darin zu suchen hat, daß die höheren Luftschichten ihren Ursprung in größerer Äquaturnähe haben als die unteren, mit anderen Worten in dem Eingreifen der allgemeinen Zirkulation.

Nun haben wir es allerdings in der wirklichen Atmosphäre nicht mit einem Gleichgewichtszustand zu tun. Wohl aber ist das unaufhörliche Bestreben vorhanden, einem idealen Gleichgewichtszustand nahezukommen, wenn derselbe auch, wegen der fortgesetzten Störungen durch Reibung, Strahlung, Kondensation, Mischung usw., niemals erreicht wird. *Helmholtz* hat die Theorie des allgemeinen Kreislaufes auf eine neue Grundlage gestellt, indem er lehrte, denselben als Störungen eines solchen idealen Zustandes aufzufassen.

Anfängern bereitet es nach meiner Erfahrung oft Schwierigkeiten, die Beziehungen des *Helmholtz*schen Idealfalles zu den Verhältnissen der wirklichen Atmosphäre richtig aufzufassen. Sie können nicht begreifen, daß es gestattet sein kann, von den Strömungen in der Richtung der Meridiane fürs erste völlig abzusehen. Die Sache liegt nun so: *Helmholtz* vernachlässigt die Reibung, um das Problem der mathematischen Behandlung überhaupt zugänglich zu machen. Nun ist das System der Konvektionsströmungen zwischen den niederen und hohen Breiten aber nichts Anderes, als eine Art thermodynamische Maschine, die Wärme in mechanische Energie verwandelt, und zwar im Mittel genau so viel, als von letzterer durch die Reibung zerstört wird. Läßt man die Reibung weg, so muß man dasselbe mit den Konvektionsströmen tun, denn sonst würden sich mit der Zeit unbegrenzt wachsende Geschwindigkeiten ergeben.

Diese Gedankengänge von *Helmholtz* enthalten aber nicht nur meteorologisch, sondern auch hydrodynamisch Neues. Wie bekannt, beschränkt man sich in der Hydrodynamik durchweg auf die Betrachtung von Flüssigkeiten, deren Dichte konstant oder nur vom Druck abhängig ist. Nun ist zwar in jedem der von *Helmholtz* betrachteten Luftringe die Dichte, zufolge der gemachten Annahme über die Konstanz der potentiellen Tempe-

<sup>3)</sup> Die von *Helmholtz* eingeführte potentielle Temperatur ist die Temperatur, die die Luft annehmen würde, wenn sie adiabatisch auf den Normaldruck von 760 mm gebracht würde. Ihre Berechnung geschieht nach der bekannten Poissonschen Gleichung der Thermodynamik. Durch Einführung der Höhe an Stelle des Druckes (mit Hilfe der barometrischen Höhenformel) erhält man das Resultat, daß die potentielle Temperatur der Atmosphäre mit der Höhe wächst, gleichbleibt oder abnimmt, je nachdem die vertikale Temperaturabnahme kleiner, gleich oder größer ist als  $1^\circ$  auf 100 m. Im ersten Fall ist das Gleichgewicht stabil, im zweiten indifferent und im dritten labil.



ratur, nur eine Funktion des Druckes. Aber in verschiedenen Ringen ist die Beziehung zwischen Druck und Dichte eine andere, und wenn wir die Ringe beliebig dünn werden lassen, steht es uns frei, die Dichte innerhalb weiter Grenzen unabhängig vom Druck variieren zu lassen.

*Helmholtz* hat weiter gezeigt, daß sich Trennungsflächen der betrachteten Art vorzugsweise in zwei Breitengürteln ausbilden müssen: Erstens in der Passatzone, als Grenze zwischen dem Passat und dem darüber fließenden Antipassat. Dort ist sie auch, erstmalig i. J. 1904 durch *Hergesell*, nachgewiesen worden. Zweitens dort, wo die sich durch Ausstrahlung stets neu bildenden kalten Luftmassen des Polarbeckens einen Ausweg nach den wärmeren Breiten suchen. Diese Trennungsfläche steht heute, namentlich infolge der Arbeiten von *V. Bjerknes* und seiner Schule, im Brennpunkt des Interesses der synoptischen Meteorologen. *V. Bjerknes* hat sie, bzw. ihre Schnittlinie mit der Erdoberfläche, die „Polarfront“ genannt und sucht auf ihre Bewegungen alle Witterungsvorgänge der gemäßigten Breiten zurückzuführen.

Wir erinnern jetzt an unseren früheren Anspruch, daß *Helmholtz* außer den labilen Gleichgewichtszuständen thermodynamischer Art auch solche mechanischer Art in der Atmosphäre nachgewiesen hat. Damit hat es folgende Bewandnis: Es ist zwar, wie früher erwähnt, zwischen benachbarten Luftringen verschiedener potentieller Temperatur und verschiedenen Rotationsmomentes Gleichgewicht möglich, falls die Trennungsfläche eine entsprechende Lage hat. Aber dieses Gleichgewicht ist labil. Geringe Störungen reichen hin, um ein Aufrollen der Fläche mit nachfolgender Mischung der vorher getrennten Luftmassen herbeizuführen. Man hat häufig Gelegenheit, ähnliche Vorgänge im Kleinen zu beobachten, z. B. am Zigarrenrauch. Hier haben wir also eine neue Ursache für den anscheinend zufälligen Charakter der Witterung. Und der Umstand, daß dieser Charakter gerade da am auffallendsten hervortritt, wo wir nach dem obigen eine solche Grenzfläche anzunehmen haben, entscheidet dafür, daß diese Ursache die hauptsächliche ist<sup>4)</sup>.

Über den Mechanismus der Störungen hat *Helmholtz* namentlich in der zweiten Abhandlung „über atmosphärische Bewegungen“ tiefergehende Untersuchungen veröffentlicht. Teils macht er für sie die Unregelmäßigkeiten der Erdoberfläche, teils das Nichtzusammenfallen des Kältepoles mit dem Rotationspol der Erde verantwortlich. Fer-

<sup>4)</sup> Daß die Grenzfläche zwischen Passat und Antipassat sich ungleich weniger bemerkbar macht, hängt mit der geringeren Schrägstellung dieser Fläche zusammen, die ihrerseits wieder eine Folge der geringeren ablenkenden Kraft der Erdrotation in den niedrigeren Breiten ist. Diese Fläche kommt gar nicht zum Schnitt mit der Erdoberfläche und braucht deshalb auch nicht immer wieder durchbrochen zu werden, um den aus höheren Breiten kommenden Luftmassen den Durchtritt zu gestatten.

ner zeigt er, daß sich an der Trennungsfläche aneinander gleitender Luftringe Wogen bilden müssen, ähnlich wie der Wind auf einer Wasserfläche Wogen aufwirft, nur daß die Luftwogen, entsprechend dem geringeren Dichtigkeitsunterschied beider Medien, sehr viel länger sind als die Wasserwogen. Wenn die Luftwogen zum Branden kommen, was wegen des geringen Dichteunterschiedes verhältnismäßig leicht geschieht, so tritt Mischung der vorher getrennten Luftmassen ein, das Gleichgewicht wird gestört und es treten Verschiebungen ein, bis eine neue Gleichgewichtslage gefunden ist. Solchen Vorgängen haben wir es nach *Helmholtz* zuzuschreiben, daß sich die ideale Trennungsfläche in eine Reihe aufeinanderfolgender Zyklonen und Antizyklonen mit Übergewicht der ersteren auflöst. Dergestalt hat *Helmholtz* schon vor einem Menschenalter in großzügiger Weise die Zyklonen und Antizyklonen als Glieder des allgemeinen Kreislaufes der Atmosphäre aufgefaßt.

Auf die Luftwogen sind, wie schon eingangs erwähnt, die „Wogenwolken“, ferner nach *Helmholtz* Ansicht auch die periodisch aufeinander folgenden Regenböen zurückzuführen. In einer kurzen Mitteilung an die Berliner Physikalische Gesellschaft vom Jahre 1886 hat *Helmholtz* auf Grund eigener Beobachtung ein Gewitter beschrieben (2), dem er die gleiche Entstehung zuschreibt.

Die erste Anregung zur Beschäftigung mit meteorologischen Dingen scheint *Helmholtz* durch das 1872 erschienene Buch von *Reye* „Die Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen“ empfangen zu haben. Später haben ihn seine eigenen hydrodynamischen Untersuchungen, in erster Linie die über das Prinzip der geometrisch ähnlichen Bewegungen und über unstetige Flüssigkeitsbewegungen, zur Meteorologie geführt. Umgekehrt haben seine Untersuchungen auch wieder seine Tätigkeit als Hydrodynamiker befruchtet; denn durch sie wurde er angeregt, seine Theorie der Wellen an den Grenzen verschieden dichter, gegeneinander bewegter Medien zu entwickeln (5).

Dieses Wenige möge genügen, um darzutun, daß *Helmholtz* meteorologische Arbeiten kein zufälliges Anhängsel, sondern ein integrierender Bestandteil seines Lebenswerkes sind und daß dieses an Geschlossenheit und Schönheit verliert, wenn wir jenen nicht die verdiente Beachtung schenken.

#### Verzeichnis von *Helmholtz*' meteorologischen Veröffentlichungen.

1. *Wirbelstürme und Gewitter*. Vortrag, 1875 in Hamburg gehalten. Vorträge und Reden, Bd. II.
2. *Wolken- und Gewitterbildung*. Aus den Verhandlungen der Physikal. Gesellsch. zu Berlin. 5. Jahrg. S. 96–97. Sitzung vom 22. Okt. 1886. (Wissenschaftl. Abhandl., Bd. III, S. 287–88.)
3. *Über atmosphärische Bewegungen*. Aus d. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Berlin, S. 647–663.

Sitzung vom 31. Mai 1888. (Wissenschaftl. Abhandl., Bd. III, S. 289—308.)

4. Über atmosphärische Bewegungen. (Zweite Mitteilung.) Zur Theorie von Wind und Wellen. Aus d. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Berlin. Sitzung vom 25. Juli 1889. S. 761—780. (Wissenschaftl. Abhandl., Bd. III, S. 309—332.)
5. Die Energie der Wogen und des Windes. Aus d. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Berlin. Sitzung vom 17. Juli 1890. S. 853—872. Wiedemanns Annalen d. Physik, Bd. XLI, S. 641—662. (Wissenschaftl. Abhandl., Bd. III, S. 333—355.)

## Hydra und Alge in neuer Zellsymbiose.

Von W. Goetsch, München.

Die Systematik unserer deutschen Süßwasserpolyphen unterscheidet zwei große Gruppen: die grünen, welche durch das ständige Zusammenleben mit symbiotischen Algen ihre Farbe erhalten, und die übrigen, die einer solchen Symbiose entbehren. Diese braun oder grau gefärbten Formen gehören sicher nicht einer einzigen

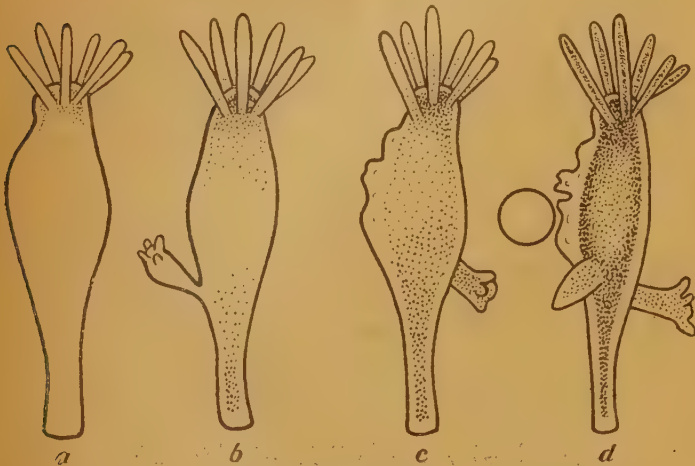


Fig. 1. Allmähliche Verbreitung der Algen im Hydrakörper.

- a nur die Basis der Tentakel grün gefärbt.
- b Kopf und Fußpartie mit Algen; Knospe noch nicht infiziert.
- c Fortschreiten der Verfärbung; die neue Knospe bereits grün.
- d Tier vollkommen durch Algen verfärbt, die aber nicht ins Ei eindringen.

Art an; man muß mindestens zwei Spezies unterscheiden, die von P. Schulze sogar zu Gattungen erhoben werden: die gestielten *Pelmatohydren* mit spiraliger Knospenfolge und die ungestielten, deren Knospen meist paarweis entstehen und sich außerdem noch durch das andere Auftreten der Tentakel auszeichnen. Eine genaue Speziesfeststellung ist indessen immer noch unsicher, und selbst die Abgrenzung der beiden Gattungen ist manchmal nicht leicht. Man muß neben morphologischen Merkmalen, die hauptsächlich die Nesselkapseln berücksichtigen, auch noch biologische Momente wie Geschlechtlichkeit, Eibildung und dergleichen in Betracht ziehen. Für Nichtspezialisten auf diesem Gebiete ist es oft äußerst

schwer, in jedem einzelnen Fall zu erkennen, was für ein Tier er vor sich hat.

Neuerdings beginnt nun auch noch die Abgrenzung zwischen braunen und grünen Tieren schwerer zu werden; denn manche dieser Formen scheinen im Begriffe zu sein, dem Beispiel ihrer grünen Gattungsgenossen zu folgen und ebenfalls zu einer Symbiose mit Algen überzugehen.

Daß zwischen manchen grünen und braunen Hydren Zusammenhänge bestünden, vermutete ich seit dem Augenblick, als bei meinen Untersuchungen in einem dunkel stehenden Kulturglas, das meiner Meinung nach nur die grüne *Chlorohydra viridissima* (= *Hydra viridis*) enthielt, einzelne bräunlich gefärbte Tiere aufzutreten begannen. Ich stellte darauf in dieser Richtung hin Beobachtungen an, die aber ebenso wie Versuche, braune Exemplare durch Verfüttern von Algen zur Verfärbung zu bringen, ergebnislos verliefen, bis ich durch Zufall erfuhr, daß bei einer Doktorandin des Münchener Zoologischen Instituts einige braune Hydren grünliche Farbe angenommen hatten. Diese Tiere, die sich schon vorher durch allerlei pathologische Merkmale ausgezeichnet hatten, entstammten dem Botanischen Garten in Nymphenburg, und da ich selbst seit längerer Zeit vom Bassin desselben Warmhauses einige Hydren zu Versuchszwecken hielt, unterzog ich sie einer genauen Untersuchung; mit dem Resultat, daß im Verlauf einiger Tage nach und nach bei fast allen Tieren die Partie um die Mundöffnung herum grün wurde.

Die weitere Beobachtung ergab ein allmähliches Fortschreiten der Verfärbung, wobei jedoch nicht alle Teile gleichmäßig rasch ergrüneten. Nach dem ersten Auftreten zwischen den Tentakeln begann vielmehr die grüne Farbe zunächst an der Fußpartie zu erscheinen und breitete sich erst dann allmählich auf die dazwischenliegenden Teile aus, bis nach ungefähr 2 Wochen bei allen Tieren überall am ganzen Körper eine intensiv grüne Färbung zu beobachten war. In der Fig. 1 sind einige Stadien der Algenverbreitung skizziert.

Die Ausbreitung der pflanzlichen Symbionten im Hydrakörper war von ziemlich starken Schädigungen der Tiere begleitet; ich hatte bereits erwähnt, daß bei diesen Tieren schon vor dem sichtbaren Auftreten der Algen pathologische Erscheinungen aufgefallen waren. Bemerkenswert war eine zunehmende Verkleinerung des ganzen Körpers, verursacht wohl dadurch, daß den Tieren Fang und Bewältigung von Beute schwer fiel. Das Reservematerial der sogenannten interstitiellen Zellen, aus dem sich auch die Nesselkapseln ergänzen, schien stark degeneriert zu sein; es zeigte sich das auch darin, daß die regenerativen Prozesse zu dieser Zeit vollkommen gehemmt waren, und die Knospenbildung unterblieb. Dagegen machten sich Längsteilungen bemerkbar, die ebenfalls als ein Zeichen von krankhaften Zuständen aufzufassen sind.



Es gelang mir daher nicht, eine größere Anzahl der verfärbten Hydren am Leben zu erhalten, da sie in den Aquarien wieder verschwanden; nachdem sie ganz intensiv grün geworden waren. Einige Exemplare in kleinen Kulturschalen kamen jedoch mit dem Leben davon. Es waren dies Tiere, die während des Verfärbungsprozesses reichlich Futter erhielten; konnten sie nicht selbständig Beute fangen, so wurden ihnen tote Daphnien und Cyclopiden vorgelegt, und durch eine derartige Pflege glückte es dann, die krankhaften Zustände zu beheben. Es trat bald eine Abschnürung von Knospen ein, die zunächst noch braun gefärbt waren (Fig. 1b); nach Fortschreiten der Ergrünung wurden dann aber Knospen gebildet, die schon Algen mitbekamen, und bald danach gingen auch einige Tiere zu Ei- und Hodenbildung über (Fig. 1d).

Von jedem dieser Tiere konnten dann in der Folgezeit eine große Zahl von Nachkommen erzielt werden; sie waren zwar nicht so intensiv grün wie die ersten pathologisch veränderten Exemplare, hielten dafür aber die Symbiose vollkommen aufrecht. Noch heute (Dezember 1921), nach zehn Monaten, sind alle Nachkommen dieser zwei Männchen und zwei Weibchen mehr oder weniger grün gefärbt.

Eine genaue Feststellung, zu welcher Art die sich verfärbenden Tiere gehörten, war zunächst nicht möglich. Ihr ganzes Habitusbild war so verändert, daß es noch zweifelhaft erschien, ob es sich um Angehörige der braunen Gruppe handelte oder um grüne Exemplare, welche nur durch irgendwelche Ursachen ihre Algen reduziert hatten.

Dieser letzte Fall schied jedoch bald aus; die Unterschiede mit der Gattung *Chlorohydra* wurden ganz offensichtlich. Weniger leicht war die Frage, welcher Spezies der braunen Gruppe sie angehörten. In dem Wunsche, die Symbiose nicht erlöschen zu lassen, versuchte ich auf alle mögliche Weise, andere Hydren zu infizieren. Das gelang auch in vielen Fällen, indem ich Reste eingegangener grüner Tiere in geöffnete Daphnenschalen hineintat und die so präparierten Beutetiere fressen ließ. Nach den Resultaten dieser Versuche hielt ich die Hydren zunächst für gestielte Formen, denen sie damals auch in ihrem Habitus am meisten glichen. Bald lernte ich aber erkennen, daß eine dauernde Verfärbung bei *Pelmatohydren* nicht möglich ist, sondern nur bei Angehörigen der Gattung eintreten kann, die jetzt allein noch den Namen „*Hydra*“ trägt. Welcher Spezies die Tiere meiner grünen Kulturen angehören, ist dagegen immer noch zweifelhaft. Sie halten die Mitte zwischen *Hydra attenuata* und *Hydra vulgaris*; für erstere spricht der Befund der Nesselkapseln, für letztere die getrennte Geschlechtlichkeit. Vielleicht handelt es sich auch wirklich um eine noch unbekannte Art oder Abart, oder es haben sich durch die Algenaufnahme Abweichungen gebildet. Welche

Entscheidung in Betracht kommt, werden erst weitere Beobachtungen zeigen.

Die Algen, um die es sich bei den ergrünten Hydren handelt, sind wie bei *Chlorohydra* Zoochlorellen. Auch hier war eine ganz genaue Speziesbezeichnung selbst Botanikern noch nicht möglich. Zweifellos scheint es sich mir aber um eine andere Chlorella zu handeln als bei den echten grünen Hydren. Zunächst ist ihr Umfang beinahe doppelt so groß wie der von typisch grünen Formen; deren regelmäßiger Einschlüsse sie auch entbehren. Teilungsstadien sind häufig zu beobachten, ein Zerfall in vier gleich große Stücke scheint die Regel zu sein. In allen Algen läßt sich eine helle Körnelung erkennen, die wohl als abgelagerte Stärke zu deuten ist.

Auch die Verbreitung der Algen innerhalb des Wirtstiers ist eine andere als bei *Chlorohydra*. Sie finden sich nicht hauptsächlich an der Basis der Entodermzellen, sondern in den Vorwölbungen nach dem Magenraum zu.

Auffallend stark verbreitet sind die Algen stets an den Mundpartien, den Stellen also, wo ihr Auftreten zuerst beobachtet werden konnte. Sie halten sich dort auch am längsten, wenn man sie aus dem Hydrakörper wieder zu verdrängen sucht.

Ganz im Gegensatz zu den *Chlorohydren* ist es nämlich ziemlich einfach, die Symbiose wieder zu lösen. Man braucht nur die Tiere einige Wochen im Dunkeln zu halten, um die grüne Farbe zum Verschwinden zu bringen. Dasselbe wie durch Dunkelheit läßt sich auch durch Kälte erreichen. Mehrmals war bei anhaltend kühlem Wetter die grüne Farbe soweit zurückgegangen, daß sie ohne Vergrößerung nicht sichtbar wurde. Stets hielt sich aber in der Tentakelbasis ein letzter Rest der Algen, und durch ein Überführen in günstigere Bedingungen gelang es regelmäßig, die pflanzlichen Symbionten wieder zu neuer Vermehrung zu bringen.

Nach vierwöchentlichem Aufenthalt im Dunkeln ist indessen jede Spur der Algen verschwunden, so daß sie auch an hellen warmen Standorten nicht mehr auftreten. Will man die Tiere wieder grün werden lassen, so muß man dann künstlich neue Algen einführen.

Der Zusammenhalt zwischen Wirt und Zellbewohner ist, wie man sieht, noch recht locker; es haben sich scheinbar noch nicht die konstanten Verhältnisse herangebildet, wie wir sie sonst meist bei derartigen Verbänden gewohnt sind.

Dies labile Verhältnis läßt sich auch stets am Aussehen der Hydren erkennen; sie sind im allgemeinen nie so gleichmäßig gefärbt wie die typisch grünen Formen. Zwischen intensiv grün gefärbten Tieren wie in Fig. 1d und solchen mit leichten grünlichen Tönungen am Kopf (Fig. 1a) sind alle Übergänge zu finden. Dabei ist zu beobachten, daß nicht allein die äußeren Einflüsse maßgebend sind; auch bei den einzelnen Kulturen, die alle immer von je einem Tier hergeleitet sind,

machen sich Unterschiede geltend, so daß ich es bei gleichmäßigen Lebensbedingungen den Tieren meist ansehen konnte, aus welchem Glase sie stammten.

All das sind Momente, welche die Neuheit der symbiontischen Verhältnisse kundtun.

Ob nun wirklich das Auftreten der neuen Symbiose von Hydra und Alge sich auf Februar (1921) wird feststellen lassen, ist natürlich nicht gesagt. Vielleicht sind solch grün gewordene Tiere schon öfter beobachtet worden, aber man hat sie dann für echte „viridis“ gehalten. Grüne „Hydra fusca“ und „Hydra grisea“ wurden schon verschiedentlich von älteren Autoren beschrieben; es waren dies aber dann immer Tiere, die durch die Farbstoffe aufgenommener Beutetiere ihre Färbung vorübergehend änderten; eine echte Symbiose ist noch nie erwähnt worden.

Es wäre also immerhin denkbar, daß in dem Warmhaus des Botanischen Gartens sich in der Tat zum ersten Male die Bedingungen so günstig gestalteten, daß die Algen sich an die neue Symbiose gewöhnten oder aber die Hydren zur Aufnahme der Chlorellen befähigt wurden.

Das eine halte ich jedenfalls für sicher; wenn wirklich schon einmal solch günstige Bedingungen herrschten und eine Symbiose zustande kam, so ist sie bald wieder verschwunden; denn keinesfalls konnte sie sich in der Winterkälte behaupten, und auf die Eier ist sie nicht übertragbar.

Wahrscheinlich würde es sogar nicht einmal über die erste Infektion hinaus gekommen sein; denn wie ich schon eingangs erwähnte, kränkeln die Hydren beim ersten Algenüberfall so sehr, daß sie ohne künstliche Nachhilfe zugrunde gehen.

Diese Beobachtung ließ sich auch immer dann machen, wenn es gelang, Tiere künstlich zu infizieren. Das ist möglich durch die schon beschriebene Methode, Daphnienschalen mit zerdrückten algenhaltigen Teilstücken anzufüllen und die so präparierten Beutetiere von den Polypen fressen zu lassen.

Besser gelingt noch eine Übertragung auf dem Wege der *Transplantation*. Zerschneidet man Hydren und fügt braune und grüne Teilstücke mittels eines Haares aneinander, so tritt mit der Verwachsung auch eine ganz allmähliche Algenübertragung in die noch nicht infizierten Teile ein, sofern es sich um Tiere derselben Art handelt.

An den Transplantationstieren lassen sich häufig sehr schöne Beobachtungen machen. Tritt z. B. die Knospenbildung unmittelbar an der Verwachsungsstelle ein (wie in Fig. 2), so können Teile der beiden Pfropfhälften in das neugebildete Individuum übertreten und noch längere Zeit getrennt bleiben, bis eine allmähliche Verwischung der Grenzen eintritt. Die Fig. 2 zeigt einen derartigen Fall, der gleichzeitig auch einen Hinweis dafür liefert, wie bei der ungeschlechtlichen Fortpflanzung nicht alle

Teile neu gebildet sein können, sondern wirklich ganze Abschnitte des Muttertieres in die Knospe mit übergehen.

Ferner lassen sich derartige Pfropfungen zu Versuchen verwenden, künstliche Hermaphroditen zu erzeugen. Wurden Tiere verschiedener Farbe zur Verwachsung gebracht, die bereits Anlagen von Geschlechtsorganen zeigten, so entwickelten sich diese weiter. Es ging dies jedoch nur so lange, als noch keine endgültige Vermischung beider Hälften eingetreten war; in diesem Fall wurde die eine Geschlechtskomponente unterdrückt.

Endlich sind solche Transplantationen bei verschieden gefärbten Tieren noch als Prüfstein für die Art- und Rassengleichheit zu be-

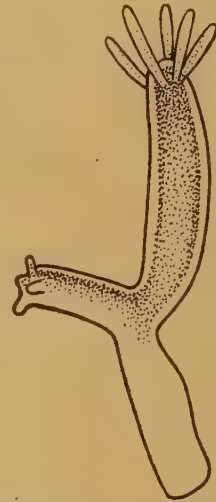


Fig. 2. Transplantationstier mit grünem, gepunktetem Oberteil und braunem, hellem Fuße. In die Knospe gehen Teile beider Abschnitte über.

nützen, denn es kann vorkommen, daß wohl eine vollkommene Verwachsung stattfindet, ein Überwandern der Algen jedoch nicht. Die Versuche in dieser Richtung sind noch nicht abgeschlossen, es müssen dazu möglichst Hydren derselben Art verwendet werden, die aber unbedingt nichts mit dem Material aus dem botanischen Garten zu tun haben. Denn soweit bis jetzt feststellbar, sind es immer nur Tiere dieser Herkunft, welche einer dauernden Symbiose unterliegen, so daß es sich vielleicht wirklich um eine neue Mutationsform handelt.

Da ein Übergang der Algen in die Eier nicht stattfindet wie bei *Chlorohydra viridissima*, müßte dieser Stamm wahrscheinlich früher oder später wieder erlöschen, sofern nicht die aus dem Ei gezogenen Tiere die Fähigkeit der Algenaufnahme vererben. Es ist erst in letzter Zeit gelungen, ein Ei zum Ausschlüpfen zu bringen und eine Anzahl Knospen von dem jungen Tiere zu erzielen, die natürlich der Symbionten völlig entbehren. Mit diesen Exemplaren soll weiter experimentiert werden.



Vielleicht kommt es bei dieser neuen Generation zu einer Steigerung in der Anpassung an die Symbiose, derart, daß solche Tiere auch ohne künstliche Hilfe Algen aufnehmen, wenn sie mit verfärbten Exemplaren zusammen sind. Trotz monatelangen Zusammenseins mit grünen Tieren haben dies bis jetzt auch algenfreie Hydren derselben Rasse niemals wieder getan; nach dem ersten Algenüberfall bedurfte es immer erst einer künstlichen Einführung, auch bei Tieren, aus deren Körper die Symbionten erst durch Kälte oder Dunkelheit vertrieben worden waren. An einem Mangel von freien oder ausgestoßenen Algen kann es nicht liegen, denn die Polypenläuse (*Kerona polyporum*) sehen auf grünen Tieren durch die dort gefressenen Algen ebenfalls grünlich aus.

Wie man sieht, haben sich noch in keiner Weise regelmäßige Verhältnisse bei dieser neuen Symbiose herausgebildet; alles sieht noch nach einem Versuch aus, und das Zusammenleben von Hydra und Algen ist noch nicht einmal einem wirklichen Waffenstillstand zu vergleichen. Die Möglichkeiten sind noch nicht geklärt, die Kräfte noch nicht ausgewogen. Befinden sich die Hydren in irgendeinem Schwächestand, wie Hunger und Depression, geschlechtliche Vermehrung und Regeneration, so nehmen die Algen überhand; sie werden dagegen zurückgedrängt, wenn die Polypen bei reichlicher Nahrung durch rege Knospenbildung zu erkennen geben, daß sie auf einem Höhepunkt ihres Daseins stehen.

Es ist daher vielleicht auch nicht richtig, das Zusammensein von Hydra und Alge eine echte Symbiose zu nennen; ein Übergang dazu scheint es mir aber doch zu sein. Bei der Wichtigkeit, welche nach den neuesten Forschungen dem innigen Zusammenleben von Organismen der verschiedensten Gruppen zukommt, ist es aber gerade ganz interessant, daß hier, gewissermaßen unter dem Mikroskop, die Anfangsstadien einer solchen Vereinigung beobachtet werden konnten. Sie geben uns einen Beweis dafür, daß nicht nur der zum Schlagwort gewordene „Kampf ums Dasein“ Berechtigung hat, der die Gegnerschaft aller gegen alle predigt, sondern daß auch das Gegenteil möglich ist: eine gegenseitige Duldung, die nach und nach eine innige Verbindung zu gegenseitiger Hilfe werden kann; zu einem „Bund fürs Dasein“, wie wir ihn bei so vielen Lebewesen jetzt kennen.

### Besprechungen.

**Drygalski, Erich von, Das Eis der Antarktis und der subantarktischen Meere.** „Deutsche Südpolar-Expedition 1901—1903“ Bd. I. Geographie, Heft 4, S. 365—709. 105 Abb. im Text, Tafel XV—XXXVI, 3 Karten. Berlin, Georg Reimer, 1921. Preis M. 480,—.

Verhältnismäßig spät ist das Polareis Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen geworden, und wenn man von gelegentlichen Schilderungen einzelner

Polarforscher absieht, so hat erst das Werk von *Karl Weyprecht* „Die Metamorphosen des Polareises“ (1879) diese ebenso mannigfaltigen wie interessanten Bildungen in den Gesichtskreis wissenschaftlicher Betrachtung gerückt. *Weyprechts* Werk bietet vorzügliche Beobachtungen und schildert in höchst anschaulicher Weise und in glänzender Darstellung den Kampf des Polarforschers mit dem Eise und die Eigenschaften und Umformungen des letzteren. Aber diese Besonderheiten vom modernen physikalisch-geographischen Standpunkte aus zu würdigen, blieb ihm versagt, denn erst in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts hat sich die auf physikalischer Grundlage aufgebaute Richtung der geographischen Wissenschaft zur Anerkennung durchgerungen.

Bereits damals legte *v. Drygalski* eine besondere Vorliebe für die Probleme des Polareises an den Tag, wie seine Dissertation<sup>1)</sup> erkennen läßt. Später hatte er Gelegenheit, auf zwei Forschungsreisen in das Nordpolargebiet dessen Eisverhältnisse gründlich kennen zu lernen, denen er den ganzen ersten Band seines Expeditionswerkes<sup>2)</sup> widmete. Die nach seinem Plane von der Reichsregierung ausgerüstete und seiner Leitung unterstellte Expedition nach dem Südpolar-kontinent setzte ihn nunmehr in den Stand, sich mit voller Hingabe dem Studium der südpolaren Eisformen zu widmen.

Schon aus diesen Vorbemerkungen kann man entnehmen, daß das vorliegende Buch Anspruch darauf machen darf, als grundlegende und maßgebende Arbeit über die südpolaren Eisverhältnisse zu gelten, und tatsächlich existiert kein anderes Werk, das sich mit diesem an Ausführlichkeit, Gründlichkeit der Darstellung, Vielseitigkeit der Betrachtungsweise und Schönheit der Ausstattung messen könnte. Es wird für alle Zeiten seinen Wert als ein Hauptquellenwerk behalten und künftigen Südpolarexpeditionen die Wege weisen für eine mustergültige physikalisch-geographische Erforschung des Südpolareises.

In der Einleitung gibt *v. Drygalski* eine Definition der Polargebiete, die in dieser Zeitschrift bereits gewürdigt wurde<sup>3)</sup>, und führt aus, daß nur im Süden die volle Polarnatur zur Geltung kommt. Bei der Beschreibung des Inlandeises am Gaußberg, der einzigen eisfreien Landstelle, welche die Expedition finden konnte, wird gezeigt, wie ein geschulter Blick aus den Formen der Eisoberfläche und der Spaltenverteilung Schlüsse auf die Formen des unter dem Eise begrabenen Landes ziehen kann. Weitere Abschnitte beschäftigen sich mit der jahreszeitlichen Verteilung von Schneeeablagerung und Ablation auf dem Inlandeise, dessen Schichtung, Bänderung, Spalten, Schmelzwasser, Einschlüsse und Moränen. Mit großer Ausführlichkeit werden Messungen über die Bewegung des Inlandeises mitgeteilt und ausgewertet (von

<sup>1)</sup> Die Geoiddeformationen der Eiszeit, Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1887, 22. Bd., S. 168—280. Auf S. 195—229 wird die Wirkung der Eismassen, insbesondere des nordamerikanisch-grönländischen und des europäischen Inlandeises zur Eiszeit sowie der heutigen antarktischen Eisbedeckung auf die Gestaltveränderung des Erdkörpers diskutiert und deren zahlenmäßiger Betrag auf mathematischem Wege ermittelt.

<sup>2)</sup> Grönländexpedition der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1891—1893. Unter Leitung von *Erich von Drygalski*. I. Band: Grönlands Eis und sein Vorland. XIX und 556 Seiten, 54 Abbildungen im Text, 44 Tafeln, 9 Karten. Berlin, W. H. Köhl, 1897.

<sup>3)</sup> Jahrgang 9, 1921, Heft 26, S. 516—517.

*J. Domke*). Die Bewegungsrichtung ging im wesentlichen nach Norden, die Geschwindigkeit betrug bis zu 11,7 m im Monat. Letztere bleibt also erheblich hinter der in Grönland gemessenen zurück, wo sie fast 20 m *pro Tag* erreichte. Die Gründe für diesen Unterschied werden in überzeugender Weise dargelegt. An den Vertikalformen des Meeresbodens stauen sich die in das Schelfmeer<sup>4)</sup> hinausgeschobenen Bruchstücke des Inlandeises, die Eisberge, und bilden im Verein mit Schollen, die durch Gefrieren des Meerwassers entstanden, aber vielfach umgebildet sind, eine andere Eisformation, das im Meere zwar schwimmende, jedoch im allgemeinen an den Ort gebannte Schelfeis. Die ganze Posadowskibai ist mit diesem Schelfeis erfüllt, in dem durch verschiedene Art des Verwitterungsvorganges Blau eis und Mür eis entstehen und zwei Arten von Bewegungen festgestellt werden konnten, eine von den Eisbergen ausgehende lokale und eine allgemeine, wesentlich nordwärts gerichtete. Das Schelfeis ist die wichtige und weitverbreitete Übergangsform zwischen Landeis und Meereis. Seine eingehende Schilderung gibt dem Verfasser Gelegenheit, näher auf die Terminologie der verschiedenen Eisformationen einzugehen, über die in der Polarliteratur noch keineswegs Einheitlichkeit erzielt worden ist. Insbesondere gilt dies für die Bezeichnungen Schelfeis, Barriereeis und Piedmonteis.

Eine Übergangsbildung vom Schelfeis zu dem eigentlichen Treibeis stellte das Gaußfeld dar, jenes mächtige Eisfeld, welches das Expeditionsschiff „Gauß“ vom 14. Februar 1902 bis zum 8. Februar 1903 gefangen hielt. Die Entstehung und Entwicklung des Gaußfeldes, seine Belastung mit großartigen Schneewehen, die in ihrem Verhalten weitgehende Analogien mit Sanddünen zeigen, Eisschmelzversuche in verschiedenen Tiefen, Zusammensetzung und Dicke der Eisschollen, deren Eintauchtiefe man zu  $\frac{1}{7}$  annehmen darf, Beobachtungen und Messungen an den einzelnen Eisbergen, in deren einem die erdmagnetischen Observatorien eingebaut waren, und schließlich die Vermessung des Gaußfeldes und seiner durch astronomische Beobachtungen festgestellten Verschiebungen, die wesentlich in einer un stetigen Umdrehung von rund  $1\frac{1}{2}^\circ$  bestanden, werden in fünf Kapiteln ausführlich behandelt.

Das 9. Kapitel ist dem Treibeis gewidmet, das aus Bergen und Schollen gemischt, in dem breiten, den Südpolarkreis rings umschließenden freien Südmeer schwimmt. Die äußere Grenze des Scholleneises bildet meist eine ziemlich scharf ausgeprägte Linie. Zusammengepreßte Schollenmassen, wie sie im Nordpolarmeere so häufig vorkommen, sind verhältnismäßig selten. Doch sieht man häufig mit Wulsträndern versehene, sowie kleine, nur etwa 2–3 m im Durchmesser haltende runde Drehschollen, das *pancake-ice* der Briten. Für die Richtung und Geschwindigkeiten der treibenden Meereisschollen ist der Wind, für diejenigen der Eisberge die Meeresströmung maßgebend. In dem Kapitel über die Struktur des Eises werden die jüngsten Eisbildungen, nämlich Niederschlagsformen, Schnee, Reif, Raufrost und Glatteis, dann Eiszapfen, Spaltenausfüllungen, Süßwasser- und Meereis von den älteren Formen des In-

landeises und der Eisberge unterschieden. Das Meerwasser gefriert trotz seines Salzgehaltes, der den Gefrierpunkt auf  $-1,8^\circ$  bis  $-1,9^\circ$  hinabdrückt, schneller als Süßwasser, weil seine Wärmekapazität geringer ist. Das ältere Eis zeigt die von den Gletschern her bekannte Kornstruktur. Das größte beobachtete Gletscherkorn war 7 cm lang und 5 cm breit.

Die Temperaturen des Eises wurden mit Quecksilberthermometern und elektrischen Widerständen an Scholleneis und Eisbergen in verschiedenen Tiefen gemessen, und diese Messungen auch auf das Meerwasser bis zu 385 m Tiefe ausgedehnt.

Das Schlußkapitel gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Antarktis und ihre Vereisung. Der kontinentale Charakter der Antarktis ist einheitlicher als bei den übrigen Festländern, weil sie im Gegensatz zu diesen nur einer einzigen Klimazone angehört, und durch sie die alles einigende Eisverhüllung empfängt. Die beiden großen Buchten dieses Kontinentes, das Weddellmeer auf der atlantischen, das Roßmeer auf der pazifischen Seite, sind nicht die Enden eines mit Eis bedeckten Meeresarmes, der die Landmasse teilt, wie man wohl mitunter vermutete, sondern nur Gliederungen des Küstenverlaufes. Auch deuten alle vorliegenden Beobachtungen darauf hin, daß die dritte Einbuchtung auf der indischen Seite, südlich des Kerguelenarchipels nur flach ist und nicht tief nach Süden eindringt. Das auf den Karten noch vielfach in  $97\frac{1}{2}^\circ$  Ost angegebene Terminationland ist nicht vorhanden. Alle Berechnungen über die Größe des Kontinentes sind verfrüht, da noch nicht einmal die Hälfte seiner Küstenumrandung gesichtet worden ist. Den vorgeschlagenen Namen Antarktika, Antarktia und Antarktien gegenüber hält *Drygalski* an der Bezeichnung Antarktis für den Südpolarkontinent in seinem weitesten Umfange, d. h. bis zum Rande des Schelfes, fest. Das Inlandeis gehört zum Land, das Schelfeis zum flachen Meer und das subantarktische Treibeis zur Tiefsee. Auf die Frage, wie das Inlandeis einmal entstanden ist, läßt sich keine bestimmte Antwort geben, aber wichtiger ist das andere Problem seiner Ernährung und seiner Schwankungen. Zweifellos haben wir das typische Bild einer Eiszeit vor uns, doch wird das antarktische Inlandeis gegenwärtig nicht mehr von einem einzigen, im Innern gelegenen Zentrum aus ernährt, wie es vielleicht ursprünglich der Fall war, sondern von vielen hochgelegenen Ursprungsgebieten. Die Beobachtungen aller Expeditionen zeigen einen allgemeinen Rückgang des antarktischen Inlandeises seit der Eiszeit, während über die kleineren Oszillationen der Neuzeit die Ansichten geteilt sind. Im Gegensatz zu *E. Brückner* sieht *v. Drygalski* die Ursache der Eiszeit nicht in einer Erniedrigung der Temperatur, sondern in einer Erhöhung der Niederschläge. Er zeigt, daß schon eine Vermehrung des Niederschlages um 40 mm jährlich genügen würde, um eine südpolare Eiszeit aufrecht zu erhalten. Das Schlußkapitel gipfelt in einer Übersicht über die drei Eisformen des Südens nach ihren verschiedenen Eigenschaften und in der Aufstellung eines Schemas, das bereits früher veröffentlicht<sup>5)</sup> und auch in dieser Zeitschrift wiedergegeben worden ist<sup>6)</sup>.

<sup>4)</sup> Schelf wird der flache, nur bis etwa 200 m Tiefe hinabreichende Meeresgürtel genannt, der die Festländer umgibt. Er ist als ein überfluteter Teil der eigentlichen Kontinentaltafel zu betrachten, die erst jenseits des Schelfes mit steilerem Böschungswinkel zu den größeren Meerestiefen abfällt.

<sup>5)</sup> Die Antarktis und ihre Vereisung von *Erich von Drygalski*. Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-physikalische Klasse. Sonderabdruck aus Jahrgang 1919. 42 S. München 1919.

<sup>6)</sup> Die Vereisung des Südpolargebietes. Die Naturwissenschaften 1919, Jahrgang 7, S. 837–838.



Neben zahlreichen Abbildungen und Zeichnungen veranschaulichen 19 Tafeln in vorzüglichen Reproduktionen nach Photographien den Gaußberg, den Rand des Inlandeises, die verschiedenen, im Texte ausführlich beschriebenen Formen der einzelnen Eisarten, Schneewehen, Erosionserscheinungen, Verwitterung, Bänderung und andere Strukturformen des Eises usw. Einzigartig ist der Überblick über einen Teil des Gaußfeldes vom Fesselballon aus, der deutlich zeigt, wie einzelne größere Schollen in den kleineren Eisformen eingebettet sind, und wie der strenge Parallelismus der Schneewehen die vorherrschende Windrichtung mit großer Deutlichkeit angibt.

Farbig ausgeführte Kartentafeln von M. Groll stellen den Weg des „Gauß“ im südlichen Eismeer in 1:2 000 000, das Schelfeis der Posadowskibucht in 1:250 000 und das Inlandeis am Gaußberg in 1:15 000 dar. Durch besondere Signaturen sind die Formen des Eises, Inlandeis, Schelfeis, Treibeis (Blau-eis, Mürbeis, frische Tafelberge), unterschieden, die Spalten und Moränen angegeben, Richtung und Geschwindigkeit der Eisbewegung, Verbreitung des Eises im Meere, Meerestiefen, Meeresströmungen, Oberflächentemperaturen des Meerwassers sowie die Schiffswege des „Gauß“ 1901–1903, der Challenger-Expedition 1874 und der Expeditionen von Wilkes 1840 und von Mawson 1914 in übersichtlicher Weise eingetragen.

O. Baschin, Berlin.

**Abel, Othenio, Die Methoden der paläobiologischen Forschung.** Handb. d. biolog. Arbeitsmethoden, herausgeg. von E. Abderhalden. Abt. X, Heft 2, S. 129 bis 132, 100 Fig. Berlin u. Wien, Urban & Schwarzenberg, 1921. Preis M. 30,—.

Die „Grundzüge der Paläobiologie der Wirbeltiere“ (1912) des ungemein fruchtbaren Wiener Paläontologen Abel bedeuten in der Geschichte der Morphologie einen klaren Fortschritt, in gewissem Sinne einen Wendepunkt. Hier steht der einfache, richtige Gedanke im Vordergrund, daß alles, was lebt und gelebt hat, ebensowohl seine Geschichte gehabt haben muß, wie andererseits immer Beziehungen zur Außenwelt besaß und nur aus beiden heraus studiert und verstanden werden kann. Neben der fließenden, jugendlich frischen Darstellung, die jenes Buch auszeichnet, ist es reich an Einfühlungsvermögen in das Lebenswahre. Nachdem Abel in der Folge seine Fragestellung auch für weitere Tiergruppen zumeist glücklich erprobte, stellt er in der vorliegenden Arbeit die Grundlagen und methodischen Gesichtspunkte seiner Forschungsrichtung zusammen. Es werden ihm hierfür namentlich die jüngeren Forscher und jene Biologen dankbar sein, die sich in der immer breiter werdenden Paläozoologie vor lauter Einzelhaftem nur noch schwer zu rechtfinden und die doch darüber Klarheit haben, daß der Fortschritt in den Wissenschaften nie nur in den Summationen ruht.

Für Abel ist die Paläobiologie jener Lehr- und Forschungszweig, der sich mit der Ermittlung der Lebensweise fossiler Formen beschäftigt und ganz besonderes Augenmerk den Anpassungsvorgängen zuwendet. Die wichtigste Grundlage bleibt ihm die vergleichende Anatomie, die er als echte Morphologie erfaßt und stark physiologisch denkt. Das Organ und selbstverständlich in noch höherem Grade der Organismus ist funktionelle Einheit und muß als Einheit in seiner Wechselwirkung mit der Außenwelt betrachtet werden. Abel ist sich klar, daß die Paläobiologie im wesentlichen auf Analogieschlüssen beruht und weiß, daß

solche Schlüsse leicht oberflächlich sein können. Darum beschränkt er sich nicht darauf, mit den vorhandenen und zum Teil recht wenig gründlichen Kenntnissen von der Lebensweise der recenten Formen zu arbeiten, sondern studiert diese selbst gleichzeitig in gründlicher Weise. Die Anpassungsanalyse der lebenden Tiere schafft die Gesichtspunkte für jene der vergangenen Perioden. Tiergruppen, wie die Fische und die Cephalopoden, hat er in biologischer Hinsicht wesentlich tiefer erfaßt als die meisten vor ihm. Er geht von der durch das Milieu gestellten physiologischen Aufgabe aus und läßt sich nicht von vornherein durch kurzichtige Zweckmäßigkeitsvorstellungen beengen. Er sieht, daß den Organismen ganz verschiedene Möglichkeiten zur Lösung der Aufgabe gegeben sind und stellt diese von vornherein in Rechnung. Ausbau und Neuerwerb ist zunächst immer ein Anpassungsversuch. Ob die Anpassung sich in späterer Zukunft in jeder Hinsicht bewährt oder nicht, das hängt von der Wirkung von Faktoren ab, die beim Beginn jener Anpassungsvorgänge zumeist überhaupt nicht in Frage standen. Was er als gelungene und verfehlte Anpassungsvorgänge unterscheidet, ist immer gesehen von der späteren Periode, die die Frage der Bewährung aufwirft.

Abels Forschungen gehören in den Kreis der phylogenetischen Anschauungsrichtung. Aber es ist doch schon eine andere Art der Phylogenie, als jene der älteren Schule. Zwar fehlt auch bei Abel der spekulative Einschlag keineswegs, aber das Reihensehen gründet sich auf ernstere Wertung der Typen. Die schwächste Seite steckt wohl in den begrifflichen Fragestellungen. Der Verfasser erkennt zwar die Notwendigkeit an, die Ergebnisse der experimentellen Biologie hierfür mit heranzuziehen, aber von den überalteten Homologie-Analogievorstellungen kommt er doch nicht los. Die Erklärung, daß sich in praxi meistens noch sehr gut mit ihnen arbeiten lasse, ist nur eine Entschuldigung. Die Gegenwart drängt entschieden nach größerer Klarheit, auch wenn sie schwer sein mag.

Drei große biologische Gesichtspunkte werden in der vorliegenden Arbeit unter Beigabe konkreter Beispiele erörtert, nämlich der Aufenthaltsort, die Bewegungsart und die Ernährungsweise fossiler Tiere. Daß dies nur die nächstliegenden und heute am besten auszubauenden Fragestellungen sind, die die Paläobiologie aufwerfen kann, ist klar. Aber zur methodischen Schulung und Einführung in die paläobiologische Arbeitsweise genügen diese Gesichtspunkte vollkommen. Die beiden ersten sind eingehend behandelt, der dritte auffällig kurz gestaltet. Hier ließe sich sehr viel mehr und Tieferes aussagen, was auch in methodischer Hinsicht wertvoll wäre. Vielleicht beabsichtigt der Autor eine besondere Darstellung an anderer Stelle.

In der Frage des Aufenthaltsortes behandelt er ganz besonders eingehend die Bedingungen der aquatischen Lebensgebiete. Nicht ebenso gleichmäßige Behandlung finden die Lebensgebiete des festen Landes. Da wird bisweilen stark schematisiert, und es empfiehlt sich für den Leser, sich vor dem Schematismus zu bewahren, der so nahe liegt und so leicht zu oberflächlichen Anschauungen führt. Daß Abel selbst die feinere Bedeutung der örtlichen Unterschiede mit ihren bedingenden Einflüssen sehr wohl einschätzt, beweisen seine soeben erschienenen „Lebensbilder aus der Tierwelt der Vorzeit“, die meisterhaft gezeichnet sind und weiteste Verbreitung verdienen.



Der ausgebaute und am meisten abgeklärte Abschnitt handelt von den Bewegungsarten der fossilen Tiere und bietet dem vergleichenden Anatomen wie dem Physiologen außergewöhnliche Anregung. Im einzelnen sind vielleicht da und dort andere Schlüsse möglich, aber daß überhaupt die physiologische Fragestellung so sehr hervorgehoben wird und der alte Lokomotionsschematismus durch Nachweis einer ganzen Masse von speziellen Bewegungsunterarten überwunden wird, ist ein großer Fortschritt, den jeder Morphologe begrüßen muß. *H. Bluntschli, Frankfurt a. M.*

**Halbfaß, Wilh., Grundlagen der Wasserwirtschaft.**

Berlin, Gebr. Bornträger, 1921. 154 S. Preis geh. M. 32,—.

Mit vorliegendem Buche will der Verfasser eine kurze, gemeinfaßliche Darstellung der natur- und volkswirtschaftlichen Grundlagen der Wasserwirtschaft geben, die keine besonderen technischen Kenntnisse voraussetzt, aber doch durchaus wissenschaftlichen Charakter trägt. Um jedoch den Umfang der Schrift nicht über einen gewissen Raum hinausgehen zu lassen, sind die mit dem Weltmeere in enger Beziehung stehenden Teile der Wasserwirtschaft unberücksichtigt geblieben und ist auf Einzelfragen im allgemeinen nicht eingegangen.

Die Abhandlung ist in 24 Abschnitte eingeteilt. Davon sind zwanzig der eigentlichen Aufgabe gewidmet, die übrigen vier enthalten Einleitung, Literaturverzeichnis, Autoren- und Sachregister.

In der Einleitung wird auf die Bedeutung des Wassers für den Menschen und seine Wirtschaft und auf die Mängel in der Verteilung des Wassers im Haushalt der Natur hingewiesen und die Aufgabe der Wasserwirtschaft erörtert. Die folgenden Abschnitte behandeln den Wasserhaushalt der Erde im ganzen, die Vorratskammern des Ozeandampfes auf dem Festlande, die Niederschläge, den Abflußvorgang, die Versickerung, Verdunstung sowie die Maßnahmen, die für eine wirtschaftliche Nutzung des Wassers in Betracht kommen oder möglich sind. Dabei wird der Kreislauf des Wassers und die Menge desselben erläutert, die sich in Gestalt von Flüssigkeit, Dampf, Schnee oder Eis im Kreislauf befindet, und die Verteilung des Wassers über den Erdkörper, seine Bewegung, sein Niederschlag und Abfluß, seine Verdunstung und Versickerung und die Einrichtungen zur Beobachtung und Messung derselben geschildert. Sodann werden die Maßnahmen zur Einwirkung auf die Vorratskammern des Wassers auf dem Festlande, zur Versorgung mit Trink- und Brauchwasser, zur Ent- und Bewässerung von Ländereien, zur Einwirkung auf den Abflußvorgang, zur Aufspeicherung in Talsperren sowie zur Förderung der Schifffahrt und Kraftgewinnung erörtert, und ferner wasserrechtliche und gesetzgeberische Maßnahmen zur Ausgleichung der vielseitigen und manchmal sich widerstrebenden Anforderungen besprochen, die von Landwirtschaft, Schifffahrt, Industrie in ihrem Belange und von der Allgemeinheit hinsichtlich der Volkswohlfahrt und Volksgesundheit an Gebrauch und Nutzung des Wassers erhoben werden. Daran schließt sich die Behandlung der Grundlagen für die Wasserwirtschaft in bezug auf Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung, Fischerei, Landeskultur, Kraftausnutzung und Schifffahrt. Den Beschluß des Buches bilden die schon erwähnten Verzeichnisse der benutzten Werke und ihrer Verfasser sowie der behandelten Gegenstände, die eingehend und übersichtlich zusammengestellt sind.

Reiche Zahlenangaben tragen dazu bei, dem Leser die Vorstellung von den Mengen usw. des Wassers in der Natur zu erleichtern und die Bedeutung der Wasserwirtschaft klarzumachen. Es dürfte sich aber empfehlen, stellenweise mehr noch, als es geschehen ist, zum Ausdruck zu bringen, daß die meisten dieser Zahlen überschlägliche Schätzungen darstellen und nur mit großer Vorsicht gebraucht werden dürfen.

So dankenswert auch die Absicht des Verfassers ist, weiteren, d. h. nicht sachverständigen Kreisen eine Darstellung der Grundlagen der Wasserwirtschaft zu geben, ist ihm eine einwandfreie und unparteiische Durchführung der Aufgabe leider nicht gelungen. Neben wissenschaftlichen Mängeln, die den beanspruchten „durchaus wissenschaftlichen Charakter“ der Abhandlung mehrfach in Frage stellen, beeinträchtigen falsche Schlußfolgerungen, unzutreffende Angaben und verfehlt Urteile den Inhalt erheblich. Ausführungen wie z. B. das auf S. 52 gefällte Urteil über die Tätigkeit der früheren preußischen Strombauverwaltungen und dasjenige über den Ausbau der Weichsel auf S. 79 sind völlig verfehlt und beweisen, daß Verfasser die Verhältnisse an der Weichsel überhaupt nicht kennt, und zeigen wie noch viele andere, daß ihm die zur Lösung der Aufgabe erforderliche Kenntnis der technisch-wirtschaftlichen Verhältnisse des Wasserbaues fehlt. Derartige falsche Darstellungen und Schlußfolgerungen sowie unzutreffende Angaben oder irrige Ansichten, wie z. B. die Ausführungen über die Steigerung der Hochflutgefahren durch übermäßige Entwässerung und andere sind nur zu sehr geeignet, in dem nicht sachverständigen Leser ein falsches Bild von der Wasserwirtschaft zu erwecken.

Falls eine Neuauflage des Buches nötig werden sollte, ist dem Verfasser dringend zu empfehlen, daß er die tatsächlichen Angaben und die vorgetragenen Ansichten sorgfältig nachprüft und sich überall von Sachkennern beraten läßt. *Thürnaeu, Darmstadt.*

**Keilhack, K., Lehrbuch der Praktischen Geologie.**

Vierte, teilweise neu bearbeitete Auflage. Bd. I. Stuttgart, F. Enke, 1921. VIII, 548 S. und 221 Textfiguren und 2 farbige Tafeln. Preis M. 70,—.

Steine zum Reden zu bringen, die ungemein geheimnisvolle, verworrene Sprache der Landschaften und Gebirge, das Buch ihrer Geschichte lesen zu lehren, das ist gewissermaßen die Aufgabe, die sich dieses Lehrbuch der Praktischen Geologie stellt. Es ist, wohl-gemerkt, eine Methodenlehre, keine Lehre von den Lagerstätten. Ein schwieriges Ziel; aber wenn überhaupt so muß es diesem, voll Hingabe an alle einzelnen Methoden gearbeiteten Buche erreichbar sein. Jeder, der lieber selbst liest in dem Buche der Natur, als sich von anderen vorlesen und übersetzen zu lassen, wird die Mühe seiner Benutzung nicht scheuen. Es beginnt mit dem einfachsten Handwerkszeug — Hammer, Kompaß und Lupe — und zeigt schließlich, wie dieses gegenüber verschiedenen Aufgaben wissenschaftlicher und praktischer Art zu handhaben ist. Abschnitte über geologische Beobachtungen im Hochgebirge, an Vulkanen, in Dünengebieten, über die Aufsuchung und Untersuchung von Erzvorkommen, Salzvorkommen und andere, von besonderen Kennern der betreffenden Methode beigezeichnet, geben dem Buche auch für den Fachmann einen besonderen Wert. Ganz neu ist in dieser vierten Auflage ein Abschnitt über Aufsuchung von Erdöl und Erdgas, der auch das Auftreten und die Bildungsweise dieses merkwürdigen „nutzbaren Gesteines“ kurz erläutert. In dem Beitrag *Passarges* über geologische Beobachtungen in den



Tropen und Subtropen haben in kurzem Überblick eine Reihe moderner Anschauungen über die eigenartigen geologischen Vorgänge in Steppen und Wüsten Platz gefunden. In dem Abschnitt über Beobachtungen an Gletschern und Inlandeis wäre vielleicht noch der neuen Beobachtungen A. Wegeners und H. Philipps zu gedenken, die die sogenannten Blaublätter des Gletschereises für verheilte Scherflächen halten. Den Geologen wird stören, daß für senkrecht einfallende Schichten eine Signatur vorgeschlagen ist (S. 69 und 129), die einseitige Neigung vortäuscht und für solche bisher verwendet wurde. Auch sollte man in allen Signaturen möglichst zugleich vereinfachte Abbilder der Natur geben, oder doch zum mindesten nicht Zeichen wählen, die (Fig. 198, S. 419) geradezu das Gegenteil bedeuten. Doch sind das unerhebliche Ausstellungen, nur vorgebracht, um den hohen Wert des Buches weiter steigern zu helfen.

H. Cloos, Breslau.

**Mollsch, Hans, Mikrochemie der Pflanze.** Zweite neu bearbeitete Auflage. Jena, Gustav Fischer, 1921. X, 434 S. und 135 Abbildungen. Preis geh. M. 58,—.

Abgesehen von einer Anzahl sehr wertvoller Ergänzungen ist die zweite Auflage eine Wiederholung der ersten, 1913 erschienenen. An der Anlage des Werkes brauchte nichts geändert zu werden. Trotzdem ist die Herausgabe der zweiten Auflage eine willkommene Gelegenheit, einen weiteren Leserkreis, insbesondere den chemischen, auf dieses wichtige Werk hinzuweisen.

Der *Botaniker* zählt die „Mikrochemie der Pflanze“ schon seit ihrem ersten Erscheinen zu dem festen Bestande seiner Literatur; beim *Chemiker* hat das Werk noch nicht die gebührende Beachtung gefunden. Sehr zu Unrecht. Denn kaum ein anderes Werk kommt in solchem Maße den Bestrebungen der vielen organischen Chemiker entgegen, die in der Rückkehr zur Biochemie neue Ziele suchen. Die chemische Erforschung der einfachen Kohlenstoffverbindungen ist im wesentlichen abgeschlossen; die Zeiten des lustigen Synthetisierens aufs Geradewohl sind vorüber, und die bündelfüllende Tätigkeit derer, die es zum Schaden des geistigen Niveaus unserer Wissenschaft dennoch nicht lassen konnten, wird nicht mehr gewertet. Die schon vor dem Kriege einsetzende, durch ihn aber mächtig geförderte Abkehr von der nur in die Breite gehenden Arbeit, das Verlangen nach Methode fordert klare Ziele und weit vorausgefaßte Arbeitspläne. Neben den großen Problemen, wie sie z. B. die Radikalforschung bietet, neben den Bemühungen um die Arbeitsverfahren und die physikalisch-chemische Auswertung der organischen Chemie sucht ein stets wachsender Kreis Anregung und Orientierung an den von der Natur in überreicher Fülle gebotenen Aufgaben. Mancher aber, der „rein synthetischer“ Schule entstammt, würde gerne eine biochemische Aufgabe, und sei es nur die Bearbeitung irgendeines neuen Naturstoffes, anfassen, wenn er nur wüßte, wo er zugreifen könnte. Er kennt sich unter den unbearbeiteten Naturkörpern nicht aus. Er studiere *Mollschs* Buch. Dem themensuchenden Doktorvater, der „gerne einmal etwas ganz anderes“ in Arbeit nehmen will, bietet sich hier eine Überfülle lohnender Aufgaben! Zahllose kristallisierte Pflanzenstoffe sind hier erwähnt, die, vielfach vor langer Zeit beschrieben und in den Handbüchern getreulich, aber ohne Leben registriert, der Bearbeitung harren. Viele kristallisierenden Stoffe sind jedoch fürs erste nur im Mikroskop gesehen worden, ihre Formen, Löslichkeits- und Sublimationsverhältnisse sind wohl bekannt, aber ihre präparative Erfassung steht noch aus. Wie schön

ist das Primelgift beschrieben, welche Fülle von Beobachtungen an kristallisierten Farbstoffen und kristallisierten Eiweißarten ladet zur präparativen Bearbeitung! *Mollsch* selbst ist es gewesen, der kristallisierte Anthocyan zuerst in der Zelle gesehen und es alsdann außerhalb der Zelle der mikroskopischen Betrachtung zugänglich gemacht hat. An den eiweißartigen Farbstoffen und Rotalgen und ihrer blaugrünen Verwandten hat er den gleichen Erfolg erzielt. Doch nicht nur durch diese seine eigenen Entdeckungen spricht *Mollsch* als Forscher unmittelbar zum Leser; er hat auch die meisten Ergebnisse anderer, wie er im Vorworte mitteilt, selbst nachgeprüft. Daher durchzieht das ganze Werk der lebendige Geist eigener Erfahrung: so schenkt *Mollsch* dem dankbar Lernenden außer überreicher Anregung auch ein Dokument echter Naturforschersarbeit.

K. Freudenberg, Freiburg i. B.

**Neuburger, Maximilian Camillo, Das Problem der Genesis des Actiniums.** Sonderausgabe aus der Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge, Band XXVI. Stuttgart, Ferdinand Enke, 1921. 64 S. Preis M. 5,—.

Die Frage nach dem Ursprung der Actiniumreihe ist in den letzten Jahren wiederholt Gegenstand eingehender Untersuchungen gewesen, die zu einer gewissen Klärung des Problems geführt haben, ohne aber eine vollständige Lösung zu bringen. Denn es ist zwar gelungen, die Muttersubstanz des Actiniums aufzufinden und in ihren chemischen und radioaktiven Eigenschaften zu definieren, ferner auch die Beteiligung der Actiniumreihe an der Gesamtaktivität eines Uranminerals, also das sogenannte Abzweignungsverhältnis recht genau zu bestimmen; aber was die Stelle der Uranreihe betrifft, an der die Abzweigung eintritt, so sind wir diesbezüglich noch immer auf bloße Vermutungen angewiesen. Ja, es besteht sogar noch eine gewisse Möglichkeit, daß die Actiniumreihe überhaupt keine Zweigreihe der Uran-Radium-Reihe ist, sondern von einem mit dem gewöhnlichen Uran isotopen Element abstammt.

Darum scheint es wohl verfrüht, eine Monographie über dieses Gebiet zu schreiben, besonders da der Verf. nur in der Lage ist, eine zwar sehr fleißige, aber stellenweise recht unkritische Kompilationsarbeit zu geben, ohne irgendwelche neuen Gesichtspunkte bieten zu können.

Bei der herrschenden großen Schwierigkeit, sich die wirklich wertvollen und notwendigen Bücher zu beschaffen, scheint für den Abdruck einer derartigen Zusammenfassung kein zwingender Grund vorzuliegen.

L. Meitner, Berlin-Dahlem.

**Schäff, Ernst, Ornithologisches Taschenbuch für Jäger und Jagdfreunde.** Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. Neudamm, J. Neumanns Verlag, 1921. 221 S. und 75 Abbild. Preis geh. M. 20,—; geb. M. 25,—.

Wenn ein Mann wie *Ernst Schäff*, den wir wohl als Autorität in allen jenen Fragen nennen dürfen, die man als jagdzoologische bezeichnen könnte, ein ornithologisches Taschenbuch für Jäger und Jagdfreunde zusammenstellt und ihm außerdem noch Gelegenheit geboten wird, bei drei aufeinanderfolgenden Auflagen immer wieder Verbesserungen an diesem Büchlein vorzunehmen, läßt sich mit Sicherheit erwarten, daß dabei etwas wirklich Brauchbares zustande kommt. Daß gerade in den Händen der Jäger solche Hilfsmittel viel Nutzen stiften können, lehrt uns die Erfahrung. Ist doch schon mancher Naturfreund von

der Jägerei her zum tüchtigen Feldornithologen geworden. Deshalb dürfen wir *Schöff* auch dann gewähren lassen, wenn er recht seltene Arten aufnimmt, hat doch gerade der Jäger oft genug Gelegenheit, solche Seltlinge zu erbeuten. Erst in den letzten Monden erlegte im Danziger Werder ein Bauernjäger zwei Zwergschwäne, wodurch die Angabe bei dieser Art auf S. 120 „bei uns nur einzeln im Winter an der Nordseeküste“ bereits hinfällig wird. Ließe sich der unmittelbar darauf folgende Satz „Mitteilungen über das Vorkommen dieses Schwanes sind erwünscht“ wohl besser erweisen als durch diese Angabe? Auch die Schwarzweißzeichnungen, die *Schöff* selber zeichnete, verdienen alles Lob. Wie wunderhübsch ist nicht bei aller Einfachheit zeichnerischer Technik der Kopf des Austernfischers auf S. 100! Allerdings ließen sich manche Bilder wohl durch notwendigere ersetzen. Der Kopf der Brachschwalbe z. B. wird unseren deutschen Jägern bei der Bestimmung eines Beutenvogels schwerlich zusagen kommen. Außerdem ließen sich die Maßangaben bei manchen Arten unschwer an dieselbe Stelle des beschreibenden Textes zusammenlegen. Alles in allem darf *Schöffs* Buch unbedingt als ein wohl-durchdachtes Werkchen bezeichnet werden, das tatsächlich ein brauchbares Hilfsmittel in der Hand des deutschen Jägers zu werden vermag.

Fritz Braun, Danzig.

## Physiologische Mitteilungen.

### (Berichte über die gesamte Physiologie und experimentelle Pharmakologie.)

Über die Wirkung von Alkaloiden auf Insekten (Hippobosciden). Ein Beitrag zur Physiologie der Insekten, zur Kenntnis der Alkaloide und zu ihrem Nachweise. (*Schellhase*, Berl. tierärztl. Wochenschr. Jg. 37, Nr. 28, S. 325—329, 1921.) Technik: *Schellhase* benutzt zu den Versuchen die bekannte Pferdefliege *Hippobosca equina*, die äußerst zählebig ist. Geköpfte Individuen lebten bis zu 8 Tagen. Die geköpften Tiere ließ Verf. sich auf einer geeigneten kleinen Unterlage festklammern, wo sie auch ruhig sitzen blieben und verbrachte sie dann in eine feuchte Kammer. *Schellhase* stellte nun fest, daß die enthaupete *Hippobosca* Flüssigkeitströpfchen aufnimmt und zwar durch die Öffnung, die durch die Enthauptung geschaffen ist. Der Saugmagaz. resorbiert diese Tröpfchen völlig. Da dieser Akt rein reflektorisch verläuft, so war eine Methodik gefunden, die es gestattet, diesem Insekt Stoffe einzuverleiben, die es normalerweise nie durch den Saugakt aufgenommen hätte. Durch diese neuartige Technik ist es möglich, die Wirkung von Giften an Insekten zu studieren auf eine bisher nicht gekannte Art. — Verf. prüft außer Salzlösungen, Metallgiften, bakteriellen Giften besonders die Wirkung von Alkaloiden. Es wurden angestellt: 1. quantitative Untersuchungen über die Minimaldosen, die überhaupt noch zur Wirkung kommen und 2. qualitative Untersuchungen über die Art und Weise der Wirkung. — Da *Schellhase* im Felde (Mazedonien), wo er diese Arbeiten ausführte, nur über ungenügende Hilfsmittel verfügte, so haben die quantitativen Untersuchungen zunächst nur bedingten Wert, wie er selbst betont. Die hauptsächlichsten Reizerscheinungen, welche durch die verwendeten Alkaloide hervorgerufen werden, sind: a) verschiedene Reizerscheinungen am Flugapparat (Schwingen der Flügel in besonderer Art und Vibrieren der Schwingkolben); b) Reizerscheinungen am Bewegungsapparat (klonische und tonische

Beinkrämpfe); c) Reizerscheinungen am Verdauungsapparat (öftere Defäkation); und d) Reizerscheinungen am Genitalapparat (vorzeitiges Gebären von Larven; Ausstülpungen der Kopulationsorgane). — Im zweiten Teil der Arbeit werden die speziellen Reiz- und Lähmungserscheinungen geschildert, welche die eingeführten (s. oben) Alkaloide: Strychnin, Atropin, Cocain, Morphin, Nicotin, Coffein, Arecolin hervorrufen. Die Lösungen waren äußerst verdünnt (1 : 5000; 1 : 9000; 1 : 20 000; 1 : 300 000 usw.). Es treten je nach den Giften und ihren Dosen Krämpfe bzw. Lähmungen auf. So z. B. reizt das Nicotin den Flugapparat der enthaupeten *Hippobosca* so stark, daß das kopflose Insekt davonfliegt. — Die Methode ist nach Verf. äußerst empfindlich, so z. B. gelang es ihm unter anderem Nicotin im Speichel des Menschen festzustellen nach einigen Zügen an einer Zigarette; nicotinfreier Speichel löste dagegen die typischen Reaktionen nicht aus. Zum Schluß versucht *Schellhase* eine Deutung der durch Alkaloide an enthaupeten Insekten hervorgerufenen Reizerscheinungen zu geben. Da das Gehirn fehlt, so sind willkürliche Bewegungen ausgeschlossen. Die Reizerscheinungen müssen also entweder durch Reiz der Bauchganglienketten oder der motorischen Nerven oder der Muskelsubstanz zustandekommen. Weitere Untersuchungen sind hier notwendig. Jedenfalls glaubt Verf. „den Nachweis erbracht zu haben, daß auch zwischen den nervösen Organen niederer Tiere und den Alkaloiden ganz bestimmte Beziehungen, wie bei höheren Tieren bestehen“.

Albrecht Hase, Berlin-Dahlem.

Morphologie und Morphogenese des Haarstrichs. (*Ludwig*, *Eugen*, Zeitschr. f. d. ges. Anat., I. Abt.: Zeitschr. f. Anat. u. Entwicklungsgesch. Bd. 62, H. 1/2, S. 59—152, 1921.) *Ludwig* hat die schon oft durchgearbeitete Anordnung der Haare am menschlichen Körper in einer ganz besonders ausführlichen Form nochmals revidiert und dabei, gestützt auf die vorhandene große Literatur, ein wichtiges, zusammenfassendes Werk geschaffen. Er untersuchte 50 menschliche, gut in Spiritus oder Formol gehärtete Feten an der Hand eines von ihm aufgestellten Schemas, welches alle in Betracht kommenden Haarrichtungen, Kreuze und Wirbel enthält, und erleichtert das Verständnis durch 121 Abbildungen, welche so ziemlich alle vorkommenden Varianten darlegen. Die Einzelheiten müssen im Original nachgesehen werden, da die Beschreibung so kurz und zusammengefaßt ist, daß ein Referat den Tatsachen in keiner Weise Gerechtigkeit leisten kann. Das Ergebnis der großen Arbeit ist aber sehr wichtig. *Ludwig* fand beim Menschen 9 Divergenzzentren, 12 Konvergenzzentren und 19 Kreuze konstant, die sich aber durch akzessorische Bildungen auf 25 Divergenzzentren, 36 Konvergenzzentren und 59 Kreuze erhöhen. Es sind also 2 Kreuze weniger vorhanden als die Summe der Konvergenz- und Divergenzpunkte zusammen beträgt. Dasselbe Verhältnis  $D$  (Divergenzpunkte)  $+$   $S$  (Schöpfe)  $- 2 = K$  (Kreuze) fand *Ludwig* bei Hund, Ziege und Rind, es ist also diese Formel als ein konstantes Verhältnis anzusehen. Das überschüssige unpaare Divergenzzentrum dürfte das an Oberlippe und Nase liegende, das unpaare Konvergenzzentrum dasjenige am Nabel sein. Die Haarbedeckung des Körpers muß auf strenger Koordination in der Ausbildung beruhen, die Grundlage der Ausbildung der Haarrichtung ist vermutlich in der Richtung zu suchen, in der die flächenhaften Elemente der Oberhaut mit größter Geschwindigkeit wachsen. Die Erforschung



der Vererbung des Haarstrichs dürfte noch viele neue Gesichtspunkte in der Frage der Hautarchitektur ergeben. Die Genese der Haarrichtung kann sich nur auf mechanischen Erklärungsmöglichkeiten aufbauen, andere Versuche der Erklärung, wie die oft herangezogene Anpassung an äußere Einflüsse, können keine Berechtigung haben. Der Fund von Störungen in der Haarrichtung kann wohl die Grundlage für mathematisch zu ergründende Eigentümlichkeiten in der Hautentwicklung ergeben. Namentlich wird die Asymmetrie der Haaranordnung gestatten, leicht in sonst verborgen bleibende Verschiebungen des Haarwachstums einzudringen, denn die Haare deuten Richtungen an, die schon vor ihrer Entstehung ausgebildet sein müssen. So ist die Häufigkeit asymmetrischer Anordnung bei den Affen und am Menschen im Gegensatz zu ihrer Einfachheit und Seltenheit bei den Haussäugetieren ein wichtiger Punkt, und es wird tieferes Eindringen in die Haaranordnung noch viele wichtige strukturelle Ergebnisse haben.

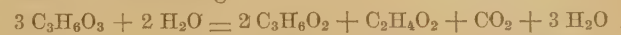
*Pinkus, Berlin.*

**Eine Quantentheorie des Sehens.** (*J. Joly, Phil. mag. (6) 41, Nr. 242, S. 289—304, 1921.*) Der Verf. macht sich eine Vorstellung von demjenigen Mechanismus, der die Umsetzung der auf die Netzhaut treffenden Lichtenergie in den Nervenreiz bewirken soll. Der Kern seiner Vorstellung liegt darin, daß das auffallende Licht in einer lichtempfindlichen Schicht Elektronen auslöst, deren maximale Anfangsgeschwindigkeit und damit Gesamtenergie eine Funktion der auslösenden Wellenlänge, deren Häufigkeit eine Funktion der auffallenden Intensität ist. Diese lichtelektrische Substanz — im folgenden mit l. S. bezeichnet —, die im wesentlichen der Sehpurpur sein soll, erfüllt das Innere der Stäbchen und imprägniert die Oberfläche der Zapfen. Im ersteren Falle würden die Elektronen innerhalb der nervösen Substanz entstehen, im zweiten Falle an deren Außenseite. Normalerweise erhält jedes Elektron die Energie  $\epsilon = h\nu$  ( $h = 6,57 \cdot 10^{-27}$  erg sec,  $\nu$  Frequenz); seine freie Weglänge wird zu  $1,5 \cdot 10^{-5}$  cm (gelbes Licht als Erreger) geschätzt, die Absorptionszeit entsprechend einer Anfangsgeschwindigkeit von  $177$  cm/sec zu  $10^{-12}$  Sekunden. Ferner wird überschlagsweise berechnet, daß die Absorption eines einzelnen Elektrons mit obiger Energie durch den Nerv bereits eine Lichtempfindung auslöst. a) Die Stäbchen absorbieren im wesentlichen die ganze Elektronenenergie und sind kraft dieser guten Ausnutzung der auffallenden Lichtenergie besonders empfindlich gegenüber schwachen Intensitäten. Dieselbe Ursache — nämlich die örtliche Koinzidenz von l. S. und Nerv —, die die Stäbchen so empfindlich macht, macht sie auch unfähig, die Qualität des Lichtes zu unterscheiden, indem sowohl die für jede Lichtsorte charakteristischen maximalen Elektronenenergien, wie auch alle vorkommenden kleineren Energiebeträge in gleicher Weise zu einem Reiz beitragen, der nicht in seine Bestandteile auflösbar ist und daher nur quantitative Merkmale haben kann. Die von den Stäbchen vermittelte Empfindung ist nur quantitativ, nicht qualitativ differenziert, daher farbenblind. b) Bei den Zapfen liegt die Sache anders. Die Erregung jedes einzelnen Zapfens wird durch distinkte Nervenbahnen bis zum Gehirn als individuell konserviert. Die an der Oberfläche des Zapfens bzw. in deren äußerer Nähe entstehenden Elektronen werden den Nerv mit verschiedener Geschwindigkeit erreichen und werden ihm verschiedene Energiequanten zuführen, maximal den Wert  $h\nu$ . — Intensives Licht wird mehr solche maximale Quanten liefern, als

schwaches Licht. Diese maximalen Fälle werden selten genug (und kurz genug) sein, um sich nicht zu überdecken. Durch möglichste Vergrößerung der mit l. S. getränkten Zapfenoberfläche hat die Natur dafür gesorgt, daß der beschriebene Vorgang möglichst günstige Bedingungen findet. Ist das Licht zu schwach, so werden die „charakteristischen“ (maximalen) Elektronenenergien zu selten vorkommen, um eine differenzierbare Empfindung hervorzurufen. Andererseits kommt keine charakteristische Energie ohne die Begleitung von untermaximalen Energien vor: jede spezifische Empfindung ist begleitet von einer nicht spezifizierbaren (jede Farbempfindung ist ungesättigt). Zu einer die ganze Wellenlängenskala bzw. die zugehörigen Energiequanten, umfassenden genauen Analyse wird der Nerv aber kaum befähigt sein. Es genügt, wenn man ihm die Fähigkeit zuschreibt, einige wenige Mittelwerte, entsprechend etwa der Mitte und dem Ende des sichtbaren Spektrums, auseinander zu kennen, wodurch die Grundlage für eine Drei- und Vierfarbentheorie gegeben ist. Diese Anschauungen wurden vom Verf. auf verschiedene Probleme des Sehens angewendet, allerdings nur in sehr skizzierter Form. So auf inadäquate Reize, Farbenblindheit, Sichtbarkeitsgrenzen des Spektrums (gegeben durch die Absorptionskurve der l. S.), Nachbilder und die Reihenfolge ihrer Färbung, Simultankontrast, Purkinjeeffekt, lokale Variation der Farbenempfindlichkeit auf der Netzhaut usw.

*K. W. F. Kohlrausch, Graz.*

**Die Ursache der Lochbildung und des charakteristischen Geschmacks des Emmentaler oder Schweizer Käses.** (Research laborat. of the dairy divis., U. S. dep. of agricult., Washington.) (*James M. Sherman, Journ. of bacteriol. Bd. 6, Nr. 3, S. 379—391, 1921.*) Bisher ist es in den Vereinigten Staaten nicht gelungen, „Schweizer“ Käse mit seinen charakteristischen Eigenschaften herzustellen, weil dort die Bakterien der Milch fehlen, deren Anwesenheit für die Entwicklung des eigentümlichen Geschmacks und für das Entstehen der „Augen“ unentbehrlich ist. In letzterer Hinsicht sollte nach *Freudenreich* und *Orla-Jensen* ein *Bacterium acidipropionici* (a) wirksam sein, das Lactate in Propionsäure, Essigsäure und Kohlendioxyd nach der Gleichung:



überführt. So stand zu erwarten, daß mit Hilfe dieser Bakterien auch in den Vereinigten Staaten ein „Schweizer“ Käse das ganze Jahr hindurch hergestellt werden können, der, was sowohl Qualität wie Quantität betrifft, dem echten Schweizer Käse gleichkam. Nun waren zwar die ersten Versuche, eine aus Bern bezogene Kultur der Propionsäurebakterien weiter zu züchten, nicht günstig ausgefallen. Der Verf. fand aber, daß die bisher vorgeschlagene Zusammensetzung der Nährlösung einen zu hohen Säuregrad ( $p_{\text{H}} = 5,2$ ) besitzt, dadurch hervorgerufen, daß bei der Herstellung derselben sekundäres Kaliumphosphat und Calciumlactat verwendet wurde, die sich unter Abscheidung von tertiärem Calciumphosphat und Freiwerden von Wasserstoffionen umsetzten. *Sherman* verwandte nunmehr eine Nährlösung, welche 1% Pepton, 1% getrocknete Hefe und 1% Milchsäure als Natriumsalz enthielt, und konnte mit dieser ein sehr starkes Wachstum der die Milchsäure umwandelnden Bakterien erzielen und den Nachweis führen, daß sie im normalen Schweizer Käse immer vorhanden sind. Diese für ihn typischen Bakterien bringen sowohl die Lochbildung als den charakteristischen Geschmack hervor, während

letzterer im „Schweizer Käse“, der in Amerika hergestellt ist, fehlen kann, trotzdem Lochbildung vorhanden ist. Letztere können also auch andere Bakterien hervorbringen. Auch kann der Nachweis der typischen Bakterien auf Grund der Feststellung flüchtiger Säuren versagen, weil wieder andere Bakterien zugegen sein und unter bestimmten Bedingungen sich entwickeln können, welche die flüchtigen Säuren aufzehren. Die typische Bakterie ist ein kleines Stäbchen, ungefähr 2mal so lang als breit; sie entwickelt sich nicht an der Oberfläche, sondern innerhalb der Nährlösung. Auch in Milch, schneller in Peptonmilch, entwickelt sie sich und rüft Gerinnung hervor. Gelatine wird nicht verflüssigt; Glucose, Milchzucker, Maltose, Rohrzucker, Glycerin und Salicin werden gespalten, Raffinose, Inulin, Mannit nicht. Charakteristisch ist die Bildung sehr großer Katalasemengen. Vom Bacterium *Freudenreichs* und *Orla-Jensens* unterscheidet sich die neue Art dadurch, daß auch Glycerin unter Bildung flüchtiger Säuren umgesetzt wird. Sie wird daher als *Bacterium acidipropionici* (d) bezeichnet. Versuche mit Reinkulturen derselben zeigten, daß dieselben auch im Großbetriebe die dem Emmmenthaler Käse eigentümliche Reifung gewährleisten.

Küster, Stuttgart.

**Radiologische Studien über die inneren Organe des Neugeborenen.** (E. Vogt, Berl. klin. Wochenschr. Jg. 58, Nr. 20, S. 513 bis 514, 1921.) Die systematische radiologische Untersuchung („Röntgenanatomie“) lehrte, daß die inneren Organe des Neugeborenen in ihrem anatomischen Aufbau und in ihrer Funktion nicht rückständig und mangelhaft anpassungsfähig sind, sondern daß sie vielmehr den besonderen Aufgaben gegenüber, die ihnen unter und nach der Geburt erwachsen, völlig zweckmäßig erscheinen. Als Ergebnis der Arbeit wird eine Fülle wichtiger und interessanter Einzelheiten aufgezählt. Besonders hervorzuheben wäre die forensisch wichtige, radiologische Lebensprobe: nur Kinder, die aktiv längere Zeit geatmet haben, zeigen die unteren Partien der Lunge mit Luft gefüllt. Bei totgeborenen Kindern behält der Thorax die intrauterine Form bei, er ist birnförmig; haben jedoch die Kinder gelebt und aktiv geatmet, so ist der Thorax durch Entfaltung der Lungen faßförmig geworden. Landkartenähnlich marmorierte Lungenfelder deuten auf Bronchopneumonien. Charakteristisch ist die Kugelform des Herzens beim lebenden und toten Kind. Dieses wiegt 0,89 % des Körpergewichtes gegenüber 0,52 % beim Erwachsenen. Das Zwerchfell zeigt relativ flache Kuppen, der Magen Angelhakenform und eine wenn auch geringe Hübhöhe. Die Verweildauer beträgt ca. 2 Stunden bei natürlicher, etwas länger bei künstlicher Nahrung. Stereoskopische Photographien des injizierten Gefäßsystems ergaben im allgemeinen relativ weite Gefäße und Kapillaren, erklärt durch das Fehlen der Längsspannung und den erst später erfolgenden Anbau von Muskulatur. Der Verschluß der Nabelarterien ist ursprünglich ein funktioneller, da es in den ersten Tagen der Geburt gelang, sie in ihrer ganzen Ausdehnung zu injizieren. Sie besitzen mindestens die gleiche Stärke wie die Iliaca communis. Auch bei totgeborenen Kindern ist die Arteria pulmonalis mächtig ausgebildet und stark präformiert; sie erscheint radioskopisch weiter als die Aorta. Ihr ist eine Zugwirkung beim Verschluß des Ductus durch Drehknickung zuzutrauen. Das Gefäßsystem der Lunge des Neugeborenen kann mit einem fertigen Kanal verglichen werden, der nur geflutet werden muß.

Rach, Wien.

**Die Phagocytose fester Teilchen. III. Kohle und Quarz.** (Laborat. of applied physiol., Harvard med. school, Boston.) (Wallace O. Fenn, Journ. of gen. physiol. Bd. 3, Nr. 5, S. 575—593, 1921.) In der vorliegenden vergleichenden Arbeit findet Verf. bei Anwendung der früheren Methodik, daß Kohle im Durchschnitt 4mal so schnell phagocytiert wird als Quarz. Doch zeigt das relative Maß der Aufnahme von Kohle und Quarz  $\frac{K \text{ (Kohle)}}{K \text{ (Quarz)}}$  starke Schwankungen von 0,7—11,5. — Hierfür kommen außer der früher hervorgehobenen Neigung der Kohle zur Agglutination — einer Erscheinung, zu der es bei den Quarzsuspensionen nie kommt — noch die wechselnden Zellbedingungen in Frage. Sie zu studieren, bedient sich Verf. der

**Schichtmethode:** Ein dünnes Deckglas wurde durch Bruchstücke eines dickeren sowohl in der Mitte als auch an seinen 4 Ecken unterstützt und auf dem Objektträger mit einem kleinen Gewicht beschwert. Dieses verhinderte, daß das Kollodium, mit dem die Fixierung des Deckglases erfolgte, sich ungleichmäßig ausbreitete. Nun wurden dicke Zellsuspensionen mit gleichen Mengen von Kohle und Quarzpartikeln unter dem Deckglas sich ausbreiten lassen und dieses dann, um Abdunstung zu vermeiden, am Rande mit Paraffin abgedichtet. Der Objektträger wurde dann bei 37° C aufbewahrt und in bestimmten Zeitabständen Zählungen der noch freien Kohle- bzw. Quarzteilchen über einen bestimmten Raum vorgenommen (16 Quadrate). Im Gegensatz zur früher angewendeten „Suspensionsmethode“ hängt bei dieser „Schichtmethode“ die Kollisionsmöglichkeit lediglich von der Größe der Teilchen ab, wird ferner die Agglutination verhindert und können endlich Quarz und Kohle gleichzeitig in derselben Schicht mit den Leukocyten bebrütet werden. Einen Nachteil bedeutet dagegen die Affektion der Zellen durch den Objektträger, wodurch sie sich ausbreiten, Vakuolen bekommen, durchsichtig werden, ihre Aktivität verlieren und die Phagocytose nicht mehr als monomolekulare Reaktion imponiert. Der graphisch bestimmte Wert der Phagocytose während einer Stunde, dividiert durch das Mittel der Teilchen, die sich nach einer Stunde noch außerhalb der Zellen befinden, gibt den Prozentsatz der pro Stunde aufgenommenen Teilchen. Das Maß für die schnellere Kohle-

verdauung kommt durch das Verhältnis  $\frac{\% \text{ Kohle}}{\% \text{ Quarz}}$  zum Ausdruck. Das Maß der relativen Kollisionschancen  $\frac{C+P \text{ Kohle}}{C+P \text{ Quarz}}$  muß noch als Korrektur angebracht werden, kann aber auch evtl. vernachlässigt werden. Nach dieser Methode waren keine Anhaltspunkte dafür zu erlangen, daß die Leukocyten Teilchen auf bestimmte Entfernungen „fühlen“ können, wie das *Commandon* (Compt. rend. Soc. Biol. 82, 1171; 1919) für Stärkekörner bei den Leukocyten und *Schaeffer* (Biol. Bull. 31, 303; 1916) für Kohle und Quarz bei Amöben festgestellt haben.

Auch aus diesen Experimenten geht die schnellere Aufnahme der Kohle gegenüber Quarz hervor. Doch ist sehr beachtenswert, daß das Verhältnis  $\frac{\% \text{ Kohle}}{\% \text{ Quarz}}$  nach der ersten Stunde zunimmt, woraus Verf. schließt, daß die Quarzteilchen zuletzt schwerer aufgenommen werden. Wenn die Zellaktivität während der ganzen Versuchsdauer dieselbe bliebe, so müßte auch die Prozentzahl der pro Stunde aufgenommenen Kohlen



konstant sein. Ihr Rückgang wird deshalb vom Verf. als Gradmesser für den Rückgang der Zellaktivität benutzt. — Auch die Zellen des Meerschwamms *Grantia* nehmen nach vorstehender Methode Kohle dreimal schneller auf als Quarz, doch wurde ihr phagocytäres Verhalten nicht so ausgeprägt gefunden, daß es zu weiteren Versuchen gelockt hätte.

Die von *Haldane* (Eng. and Min. Journ. 106, 475; 1918) und *Mavrogordato* (Journ. Hyg. 17, 439; 1918) betonten Tatsachen, wonach Quarzstaub in die Lungen eingeatmet, dort zurückgehalten wird und zu Phthise führt, Kohlenstaub dagegen aus den Lungen fortgeschafft wird und ungefähr gleich bleibt, — Tatsachen die durch die abnorm hohe Tuberkulosesterblichkeit der Quarzarbeiter und die auffallend geringe Mortalität der Kohlenarbeiter verifiziert werden —, findet Verf. durch seine quantitativ vergleichenden Experimente über die Wirkung fester Substanzen auf lebende Zellen bestätigt. In Übereinstimmung mit den klinischen Tatsachen fand er eine schnellere Verdauung der Kohle gegenüber Quarz und Gründe für diese, die aus vorstehendem hervorgehen. Im Anschluß daran wird die Hypothese entwickelt, daß die schnellere Phagocytose der Kohleteilchen zusammenhängt mit der größeren Instabilität der Kohlesuspensionen. Auf anorganische Beispiele, wie den Schlemmprozeß zur Gewinnung von Metallen — als Analogie zu der auswählenden Phagocytose — wird hingewiesen und die Wirkung der Opsonine und Agglutinine unter diesem Gesichtspunkt erörtert.

Kürten, Halle.

**Über die sogenannte Empfindung des leeren Raumes.** (Frey, M. v., Zeitschr. f. Biol. Bd. 73, H. 10/12, S. 263—266, 1921.) F. Schumann hatte kürzlich (Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg., Abt. I. u. II. 85, dies. Ber. 7, 343) eine eigentümliche Erfüllung des leeren Raumes in stereoskopischen Bildern beschrieben. Verf. ist auf diese schon vor sehr langer Zeit aufmerksam geworden. Betrachtet man zwei von derselben Platte stammende, möglichst gleiche Abdrücke stereoskopisch, so bietet sich gegenüber der Betrachtung des einzelnen Bildes binokular folgender Unterschied. 1. Der dargebotene Gegenstand erscheint dem Auge größer, dies hängt mit der geringeren Konvergenz der Augen zusammen. 2. Matte Flächen werden mehr oder weniger glänzend, der Glanz der glatten wird verstärkt. Dies wird bedingt durch die stets vorhandenen Unterschiede der beiden Abzüge. Sehr geringe Unterschiede des Tons sind genügend. Es kann auch ohne räumliches Sehen zu Glanz kommen. 3. Der vor einem gleichmäßig grauen Hintergrund aufgenommene Gegenstand wird nicht in der Ebene desselben gesehen, sondern in einem Raume stehend, der mit feinem Staub erfüllt ist. Dieser Eindruck ist um so kräftiger, je matter das Papier, das für den Abdruck gewählt wurde, ist. Die Körnung des Papiers erscheint den beiden Augen auf disparaten Netzhautstellen, und so entsteht der Eindruck eines den Raum erfüllenden Staubes. Wenn man schwarz auf weiß gezeichnete Figuren vereinigt, so kommt es nicht oder nur in sehr geringem Maße zu dieser Wahrnehmung. Die Wahrnehmung des „Staubes“ trägt zweifellos zur Förderung der Luftperspektive bei stereoskopischen Bildern bei. Die Bezeichnung „Lufteindruck“ oder „Glaseindruck“, die Schumann einführt, erscheint ungerechtfertigt.

Hoffmann, Würzburg.

**Sind die in der Industrie verwendeten magnetischen Felder gesundheitsschädlich?** (Drinker,

C. K., and R. M. Thomson, Journ. of industr. hyg. Bd. 3, Nr. 4, S. 117—129, 1921). Vor einigen Jahren wurden in einem industriellen Betrieb in Amerika, in dem Eisen- und Manganerze durch magnetische Felder getrennt wurden, Gesundheitsschädigungen der Arbeiter beobachtet. Es war ungewiß, ob man es hier mit Wirkungen des Manganstaubes oder des Magnetismus zu tun habe. Die Verff. studieren zur Klärung dieser Frage die Einwirkung starker konstanter magnetischer Felder auf den tierischen Körper. Derartige Versuche liegen schon vor, aber ohne Angabe der Feldstärke. Bisher ist von ernst zu nehmenden Forschern noch kein Einfluß konstanter Felder gesehen worden; im Wechselfelde dagegen tritt eine eigentümliche, bisher noch unerklärte flimmernde Lichtempfindung auf. — Verff. benutzen einen großen Elektromagneten mit mehr oder weniger zugespitzten Polscheiben, je nach der Ausdehnung des Versuchsobjektes. Die Ergebnisse waren vollständig negativ: Froschpräparate bewahrten ihre elektrische Reizbarkeit in vollem Maße, sie ermüdeten nicht schneller (Feldstärke bis 19 000 Gauß); Katzennerven zeigten keine Veränderung ihres Aktionsstromes; Blutkörper blieben unversehrt; Sauerstoffbindungsvermögen, Komplement, hämolytische Amboceptoren blieben normal (Feldstärke ebenso). Dann wurden Tanzmäuse 3 Monate lang täglich 15 Stunden in ein Feld von 2800 Gauß gebracht. Beweglichkeit (graphisch aufgezeichnet), Appetit, Wachstum, Fruchtbarkeit, Nachwuchs, makroskopisches und mikroskopisches Aussehen der Organe wie bei den Kontrolltieren. Schließlich brachten Verff. oft ihre Hände in die stärksten Felder, ohne davon etwas zu spüren. Da die Industriearbeiter nur verhältnismäßig geringen Feldstärken ausgesetzt sind, ist die im Titel gestellte Frage zu verneinen.

M. Gildemeister, Berlin.

## Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

**The interocular distance.** (James Weir French, Transactions of the Optical Society 23, 1921/22, Nr. 1.) French hat bei 409 Personen in England den Augenabstand mittels eines Augenabstandsmessers von Zeiß bestimmt und außerdem den Zusammenhang zwischen dem Augenabstand und dem Kopfumfang sowie der Körperlänge untersucht. Am Schlusse macht er noch Angaben über die Farbe der Iris (ebenfalls bei Männern und Frauen) und über den Zusammenhang zwischen der Breite des freiliegenden Teiles des Auges und dem Alter; aus der ausgeglichenen Kurve (B in Fig. 5) sei hier das Ergebnis mitgeteilt, daß von 17 bis 27 Jahren diese Breite ungefähr gleichbleibt (etwas weniger als 23 mm), dann aber im Alter von 27 bis 40 Jahren sehr schnell abnimmt (etwa 0,1 mm pro Jahr), worauf schließlich bis zum Alter von 50 Jahren nur noch eine langsamere Abnahme folgt.

Häufigkeitskurven für einen bestimmten Augenabstand (die Angabe, wieviele von den untersuchten Personen einen bestimmten Augenabstand haben, als Ordinate, und dieser Augenabstand als Abszisse) sind — wovon der Verfasser nichts erwähnt — in Deutschland schon seit längerer Zeit bekannt, besonders auf Grund der sorgfältigen Messungen von R. Helmholtz (Zeitschr. f. ophthalmologische Optik 1914/15, 2, 1—6 und 1915/16, 3, 97 bis 110) an männlichen und weiblichen Germanen und Slawen aus Westpreußen und von H. Koegel (Pupillen-

abstand und andere Körpermaße, Zeitschr. f. ophth. Optik 1916, 4, 1—11, 33—43, 65—75, 129—142 und 1919, 7, 74—76) an einer sehr großen Anzahl von Angehörigen verschiedener Nationen und verschiedener Rassen an den im Weltkrieg in Deutschland befindlichen Kriegsgefangenen. Da *French* außer einigen sehr alten Messungen nur noch Angaben aus dem amerikanischen Bulletin of the Bureau of Standards Nr. 27 erwähnt, seien hier vor dem weiteren Bericht über die Messungen von *French* einige Zahlen aus den soeben genannten Arbeiten von *Helmholtz* und besonders denen von *Koegel* wiedergegeben und im übrigen jedem, der auf diesem Gebiete arbeitet oder zu arbeiten beabsichtigt, empfohlen, weitere Einzelheiten (besonders die Häufigkeitskurven, die häufig sehr unsymmetrische Lage des Nasenrückens in bezug auf die Mitte des Augenabstandes, den Zusammenhang des Augenabstandes mit der Körpergröße und mit der Schädelgröße bzw. -form [Längenbreitenindex des Kopfes]) in den genannten Veröffentlichungen selbst nachzulesen. Diese sind neben anderen hierhergehörigen Arbeiten genannt von *M. v. Rohr* in seinem Buche „Die Brille als optisches Instrument“ (Berlin, J. Springer, 1921. 8°. XIV, 254 S. 112 Fig.), S. 204 bis 206.

*Helmholtz* fand, daß bei den von ihm untersuchten 525 über 25 Jahre alten Germanen bzw. Slawen der Augenabstand bei den Männern (65,23 mm bzw. 64,13 mm) im Mittel um 3 mm größer ist als bei den Frauen (62,12 bzw. 61,12 mm).

Aus den Messungen von *Koegel* hat der Bericht-erstatte folgende kleine Tabelle zusammengestellt, wobei *A* (in mm) angibt, in welchem Bereich sich die

dann kein deutlicher Einfluß des Alters vorhanden ist. Bei den Männern liegen nach *Frenchs* Messungen die Augenabstände etwa zwischen 56 und 72 mm, bei den Frauen etwa zwischen 53 und 68 mm. Der Abstand der Gipfelpunkte (63 mm bzw. 61 mm) dieser Häufigkeitskurven (Fig. 1) ist 2 mm.

Entgegen dem Vorschlag von *French*, Prismenfeldstecher auf Augenabstände zwischen 57 und 70 mm einstellbar einzurichten, mag hier darauf hingewiesen werden, daß es doch zweckmäßig erscheint, die größeren Augenabstände bis zu 74 mm einzuschließen, da das fast immer ohne besondere Mühe möglich sein wird.

Die stark ausgeglichene Kurve Fig. 3, den Zusammenhang zwischen Augenabstand und Kopfweite darstellend, zeigt, daß etwa folgende Zahlen nach *Frenchs* Messungen gelten:

|                     |     |       |     |     |       |
|---------------------|-----|-------|-----|-----|-------|
| Augenabstand in mm  | 56  | 60    | 64  | 68  | 72    |
| Kopfweite in mm ... | 149 | 154,4 | 156 | 157 | 158,4 |

Eine der untersuchten Personen hatte bei 72 mm Augenabstand eine Kopfweite von 168 mm; das ergäbe also einen gänzlich aus der ausgeglichenen Kurve herausfallenden Punkt.

Der scheinbare Durchmesser der Iris lag zwischen 10 und 13 mm, der Mittelwert für alle untersuchten Personen war 12 mm.

Zu den Bemerkungen des Verf. über den Vergleich zwischen den größten Augenabständen von Deutschen und Engländern sei hier noch der Hinweis hinzugefügt, daß es wohl mehr Zweck hat, die im Mittel am häufigsten vorkommenden Zahlenwerte für die Augenabstände zu vergleichen.

H. Erfle.

#### Aus den Messungen von H. Koegel:

|   | Belgier |          | Franzosen     |              |          | Engländer |          |       | Russen     |            |          |
|---|---------|----------|---------------|--------------|----------|-----------|----------|-------|------------|------------|----------|
|   | Vlamen  | Wallonen | Nordfranzosen | Südfranzosen | Bretonen | Engländer | Schotten | Iren  | Großrussen | Weißrussen | Ukrainer |
| A | 54—75   | 57—76    | 54—74         | 56—75        | 56—74    | 55—74     | 58—71    | 57—75 | 56—74      | 58—74      | 57—73    |
| B | 64—65   | 65—66    | 65—66         | 65—66        | 64—65    | 63—64     | 62—63    | 64—65 | 65—66      | 65—66      | 63—64    |

Zahlenwerte für den Augenabstand bewegen, *B* (in mm) den Gipfelpunkt der Kurve der Häufigkeitswerte des Augenabstandes.

Für die Angaben bezüglich der Walliser, an denen *French* keine Messungen vorgenommen hat, sei auf S. 65 (Anm. 1) der ersten Koegelschen Arbeit verwiesen, in der sich (S. 137—142) noch Angaben über Tataren und Gurkhas befinden.

*French* erwähnt in der Einleitung, daß es wünschenswert sei, daß seine sich in der Mehrzahl auf Schotten beziehenden Messungen durch Messungen an Engländern ergänzt würden. Diese Ergänzung ist, wie die vorhergehenden Bemerkungen des Bericht-erstatte zeigen, für männliche Engländer, allerdings durch deutsche Messungen, schon vor der Veröffentlichung von *Frenchs* Messungen vorhanden gewesen. *French* schlägt vor, bei Angabe von Mittelwerten das Alter unter 18 Jahren auszuschließen, da erst dann anzunehmen sei, daß eine weitere Zunahme des Augenabstandes mit dem Alter nicht eintritt; so zeigt uns Fig. 2 (Alter 18 bis 50 als Abszisse, Augenabstand als Ordinate), daß nach den Messungen von *French*

Deutsche meereskundliche Untersuchungen in der Nordsee im Sommer 1921. Die besonders während des Krieges drückend empfundene Tatsache, daß die Gezeitenverhältnisse unserer heimischen Meere noch recht ungenügend bekannt sind, hat dazu geführt, daß die für derartige Forschungen in Deutschland in Betracht kommenden Stellen, nämlich die Marineleitung, das Institut für Meereskunde und die Deutsche Seewarte sich zu einer gemeinsamen Untersuchung der Gezeiten der Nordsee vereinigt haben. (A. Mers, Gezeitenforschungen in der Nordsee, Annalen d. Hydrographie 1921, Dez.) Diese Forschungen erstrecken sich nach zwei Richtungen, indem es gilt, die regelmäßig wechselnden Gezeitenströmungen festzustellen und außerdem den vertikalen Hub zu messen. Strombeobachtungen besitzen wir dank der Organisation der Internationalen Meeresforschung bereits von zahlreichen Punkten, doch ist bedauerlicherweise unterlassen worden, gleichzeitig die Wasserstandsschwankungen zu messen, was für die einwandfreie Deutung der gefundenen Strömungen unerläßliche Vorbedingung ist. Für die neuen Untersuchungen ist deshalb von vornherein vor-



gesehen, daß beiden Erscheinungsformen desselben Phänomens genügend Aufmerksamkeit gewidmet wird. Da die Zahl der Beobachtungspunkte natürlich nur eine beschränkte sein kann, ist auf deren richtige systematische Festlegung besonderes Gewicht zu legen. Für die offene Nordsee ergibt sich der leitende Gesichtspunkt dadurch, daß nach den theoretischen Untersuchungen von *v. Sterneck* und *Defant* drei Drehpunkte der Gezeitenwellen<sup>1)</sup> anzunehmen sind, von denen einer in den Hoofden bereits bekannt ist, die beiden anderen etwa südwestlich der Skageraköffnung und nordwestlich von Helgoland aber erst nachzuweisen sind. Für die Untersuchung der Gezeiten im Bereiche der deutschen Küste ergab sich die Zweckmäßigkeit der Anlage der Beobachtungen in Profilen senkrecht zur Küste mit Fortsetzung in die Priele (Abflußrinnen des Wattengebietes) der Wattengebiete bis zur Küste und in die Flußmündungen, soweit Gezeitenerscheinungen festzustellen sind. Hiernach wurden folgende Arbeitsgebiete unterschieden: 1. das mittlere, 2. das nördliche Schwingungsgebiet der Nordsee, 3. die Prielsysteme beiderseits von Sylt (Lister Tief und Vortrapp-Tief), 4. Norder- und Süder-Aue, 5. Norder- und Süder-Hever, 6. die Eider, 7. Norder- und Süder-Piep, 8. der Elb-

Hochwasserzeiten an der Ost- und Westseite der Standwelle, wenigstens auf offener See, etwa 6 Stunden.

Im August wurden unter Leitung der Deutschen Seewarte die Prielsysteme nördlich und südlich von Sylt untersucht, wofür an Schiffen zur Verfügung gestellt waren: von der Marine drei Peilboote, vom Institut für Meereskunde der Motorschoner „Senta“ und von der Deutschen wissenschaftlichen Kommission für Meeresforschung der „Poseidon“. Wesentlich war auch, daß das Husumer Wasserbauamt während der Untersuchungszeit von neun Pegeln im Wattengebiet Wasserstandskurven aufzeichnen ließ. (*G. Schott*, Hydrographische Nordseearbeiten, Sommer 1921, Vorbericht Annalen der Hydrographie usw. 1921, Dezember.)

Außer diesen Arbeiten wurde von der Deutschen Seewarte im Verein mit der Deutschen wissenschaftlichen Kommission für Meeresforschung eine Fahrt durch die östliche Nordsee bis in die Höhe von Stavanger und bis in den Skagerak hinein ausgeführt zum Studium insbesondere der Gasverhältnisse dieses Meeresgebietes. Es wurden für die einzelnen Tiefen bestimmt: Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoffgehalt, Kohlensäuredruck, Wasserstoffionenkonzentration, Alkalinität, Gesamtkohlensäure; außerdem wurden für die gleichen Wasserproben auch biologische Unter-

*Hochwasserzeiten und mittlere Springtidenhube in der südlichen Nordsee.*

| Position  | Scarborough<br>54° 17' N<br>0° 23' W | „Drache“<br>54° 33' N<br>2° 11' O  | „Triton“ Nr. 2<br>54° 33' N<br>5° 26' O | „Triton“ Nr. 1<br>54° 21' N<br>7° 0' O | Mittel-Hever<br>Ansteuerboje<br>54° 23' N<br>8° 22' O | Hevergabelung<br>54° 26' N<br>8° 34' O |
|---|--------------------------------------|------------------------------------|---|--|---|--|
| Hochwasserzeit-<br>differenz gegen<br>Helgoland | — 7 <sup>h</sup> 3 <sup>min</sup>    | — 5 <sup>h</sup> 30 <sup>min</sup> | — 0 <sup>h</sup> 45 <sup>min</sup>      | — 0 <sup>h</sup> 30 <sup>min</sup>     | + 0 <sup>h</sup> 50 <sup>min</sup>                    | + 1 <sup>h</sup> 10 <sup>min</sup>     |
| Mittlerer<br>Springtidenhub                     | 4,8 m                                | 1,5 m                              | 0,4 m                                   | 1,6 m                                  | 3,0 m   | 5,3 m (?)                              |

fluß, 9. die Weser, 10. das Jadegebiet, 11. das Ostfriesische Watt, 12. die Ems.

Die Zeit für die Ausführung dieser Untersuchungen ist auf mindestens sechs Jahre veranschlagt unter Voraussetzung, daß in jedem Jahre mindestens ein Monat auf See mit 3—5 Schiffen gearbeitet wird.

Nach diesem Programm ist bereits in diesem Jahre beobachtet worden. Im Juni wurde unter Leitung des Instituts für Meereskunde das mittlere Schwingungsgebiet der südlichen Nordsee und das Hevergebiet untersucht. An Schiffen stellte die Marine das Vermessungsschiff „Triton“ und 3 Peilboote zur Verfügung. Das wichtigste Ergebnis der vorläufigen Bearbeitung ist die Bestätigung des von *v. Sterneck* theoretisch erschlossenen Drehpunktes durch die Beobachtung. Der Drehpunkt liegt offenbar in unmittelbarer Nähe der einen Beobachtungsstation im Juni („Triton“ Nr. 2 54° 33' N, 5° 26' O).

Von der Tritonstation Nr. 2 aus nehmen, wie bei einer stehenden Welle zu erwarten, nach Ost und West die Tidenhube regelmäßig zu, außerdem beträgt in Übereinstimmung mit der Theorie der Unterschied der

suchungen durchgeführt von einem Vertreter der Biologischen Anstalt auf Helgoland, so daß hier ein außerordentlich reichhaltiges Material gewonnen worden ist, über das später ausführlicher berichtet werden wird.

*Bruno Schulz.*

## Astronomische Mitteilungen.

### Die Kometenerscheinung vom 7. und 8. August 1921.

Mitte August gingen durch die Tagespresse Meldungen über zwei astronomische Wahrnehmungen verschiedener Art, die mit größter Wahrscheinlichkeit in unmittelbarem Zusammenhang miteinander stehen. Einmal wurden in der Nacht vom 8. auf den 9. August an der Königstuhlsterne warte in Heidelberg und auch an einigen anderen Stellen helle Strahlen beobachtet, die *M. Wolf* in den Astronomischen Nachrichten Bd. 214 S. 69 genauer beschreibt. Auch *C. Hoffmeister* in Sonneberg gibt an derselben Stelle eine ähnliche Beschreibung.

Der sternklare Himmel war von mehreren breiten, geraden, parallelen leuchtenden Bändern überquert, die sich von OSO nach WNW erstreckten. Die Streifen strahlten in mildem, weißem Licht und machten den Eindruck hoher Cirrusstreifen. Das Licht der Sterne schien ungeschwächt durch die Bänder hindurch. Die hellsten Stellen besaßen etwa die Helligkeit der Milchstraße in Sobieskis Schild. Um 13 Uhr 30 Minuten (M. E. Z.) wurden in Heidelberg drei Bänder besonders hell wahrgenommen. Das südlichste Band war am hellsten und schnitt die Milchstraße senkrecht, wodurch der Anblick eines mächtigen Kreuzes hervorgerufen

<sup>1)</sup> An einem Drehpunkte der Gezeitenwellen oder einer Amphidromie, die durch Interferenz zweier stehender Gezeitenwellen entsteht, tritt kein Tidenhub, wohl aber eine starke Versetzung der Wassermassen in horizontaler Richtung ein. Mit steigender Entfernung vom Drehpunkte vergrößert sich der Tidenhub. Die Linien gleicher Eintrittszeit des Hoch- bzw. Niedrigwassers sind speichenförmig um eine Amphidromie angeordnet.

wurde. Die hellen Bänder bewegten sich äußerst langsam quer zu ihrer Erstreckung. Gegen Morgen verblaßten sie mehr und mehr.

Daß im allgemeinen der Erscheinung nur geringe Aufmerksamkeit geschenkt wurde, liegt wohl zum größten Teil daran, daß die beobachteten Bänder große Ähnlichkeit mit Cirrusbändern besaßen und für solche gehalten werden konnten. Da sie aber selbst um Mitternacht am Südhimmel wahrgenommen wurden, so wäre man bei dieser Deutung zu ganz unmöglich großen Wolkenhöhen gekommen.

Ein Weg für die Erklärung der außergewöhnlichen Himmelserscheinung ergab sich sofort durch eine aus Amerika auf telegraphischem Weg eingetroffene und ebenfalls zuerst durch die Tagespresse verbreitete Nachricht (vgl. *Astron. Nachr.* Bd. 214, S. 69 und S. 135). Danach war am 7. August am Lickobservatorium (Californien) bei Sonnenuntergang in der Nähe der Sonne ( $3^\circ$  östlich und  $1^\circ$  südlich) ein sternartiger Himmelskörper gesehen worden, der die Venus an Helligkeit übertraf. Außer dieser Beobachtung liegen weitere Meldungen über ein in der Nähe der Sonne gesehenes helles Objekt aus Deutschland und Amerika vor. Jedoch stehen diese unter sich in Widerspruch und bedürfen weiterer Aufklärung. Am wahrscheinlichsten ist nach der Ansicht der Astronomen des Lick-Observatoriums, daß das beobachtete Gestirn der Kopf eines Kometen war. Die in der Nacht des 8. August wahrgenommenen hellen Bänder waren dann als Teile von dessen Schweif anzusehen.

Diese Auffassung steht durchaus in Einklang mit unseren Kenntnissen über die Bahnen und die physische Beschaffenheit der Kometen. Es können Kometen in Sonnennähe gelangen und darauf den Bereich der Planeten wieder verlassen, ohne daß wir sie von der Erde aus wahrnehmen, sobald nämlich die für die Beobachtung überhaupt in Frage kommende Bahnstrecke ganz in den Taghimmel fällt. Nur ausnahmsweise wird ein solcher Komet in der Nähe der Sonne eine derartige Helligkeit erreichen, daß er das Tageslicht überstrahlt. Das am 7. August beobachtete Himmelsobjekt gehört zweifellos zu dieser besonderen Gruppe von Kometen.

Bei der beobachteten Bewegung ist ferner anzunehmen, daß der Komet die Verbindungslinie von Sonne und Erde wenigstens in großer Annäherung geschnitten hat. Die Erde kam in die Richtung des verlängerten Radiusvektors des Kometen und damit in den Bereich des Schweifes, dessen Strahlen als helle Bänder am Nachthimmel sichtbar waren. Eine solche Erscheinung ist schon wiederholt wahrgenommen worden; zuletzt im Mai 1910 an südlich gelegenen Sternwarten beim Durchgang der Erde durch den Schweif des Halleyschen Kometen.

A. Kopff.

Über die Beziehungen zwischen den Farben, den Temperaturen und den Durchmessern der Sterne (*J. Wilsing*, *Astron. Nachr.* 214, 185). Die Energieverteilung in Sonnen- und Sternspektren paßt sich bekanntlich recht gut der schwarzen Strahlung an. Man kann aus der Energieverteilung eine sogenannte effektive Temperatur berechnen, die zunächst keine physikalische Bedeutung hat. Während bei dem sehr genau untersuchten Sonnenspektrum Abweichungen vom Strahlungsgesetz nachgewiesen werden können, werden sie bei den Sternen zumeist noch durch die Beobachtungsfehler verdeckt. Bei der Sonne entspricht die Energieverteilung im roten und infraroten Gebiet einer Temperatur von  $6000^\circ$ , im violetten einer sol-

chen von  $7000^\circ$ . Schließlich muß die Energiekurve der Sonnen- und vermutlich jeder Sternstrahlung aus verschiedenen Temperaturstrahlungen zusammengesetzt sein, denn da die Intensitätsabnahme der Sonnenstrahlung von der Mitte der Scheibe nach dem Rande für kurzwellige Strahlen stärker ist, als für langwellige, muß die effektive Temperatur von verschiedenen Teilen der Sonnenscheibe verschieden ausfallen. In der Tat findet man nach *Wilsing* für den Rand  $5400^\circ$ , für das Zentrum  $6800^\circ$ . Bei den Fixsternen können wir dies nicht untersuchen. Der Schmalheit der untersuchten Spektralgebiete ist es zuzuschreiben, daß wir bei den Sternen wie bei der Sonne ziemlich gut definierte effektive Temperaturen finden und ferner dem Umstand, daß größere Absorptionsbänder, wie sie vor allem im Infraroten existieren, im visuellen Gebiet fehlen — außer bei den roten Typen *K*, *M*, *N*, *R*, wo die Temperaturbestimmungen vermutlich stark gefälscht werden. Unter Annahme des Planckschen Gesetzes kann man aus der scheinbaren Helligkeit und Temperatur eines Sternes auf seinen (angulären) Durchmesser schließen und — bei bekannter Parallaxe — auf den wahren. Es sei bemerkt, daß die Durchmesser, welche auf dem Mt. Wilson nach der Interferenzmethode gemessen wurden<sup>1)</sup>, mit den von *Wilsing* berechneten sehr gut übereinstimmen.

Von 102 Sternen mit bekannten Parallaxen und von *Wilsing* gemessenen Temperaturen berechnet dieser die Durchmesser mit dem Sonnendurchmesser als Einheit. Die gemittelten Werte seien hier mitgeteilt.

| $C_p/T$   | Spektrum              | Zahl der gemittelten Sterne | Durchmesser |
|-----------|-----------------------|-----------------------------|-------------|
| 0,5 — 1,0 | <i>B</i>              | 12                          | 8,6         |
| 1,0 — 1,5 | <i>A</i>              | 4                           | 5,9         |
| 1,5 — 2,0 |                       | 8                           | 2,1         |
| 2,0 — 2,5 | <i>F</i> <sub>1</sub> | 12                          | 5,0         |
| 2,5 — 3,0 | <i>G</i> <sub>1</sub> | 14                          | 8,9         |
| 3,0 — 3,5 | <i>K</i> <sub>1</sub> | 21                          | 16,7        |
| 3,5 — 4,0 |                       | 12                          | 32,7        |
| 4,0 — 4,5 | <i>M</i> <sub>a</sub> | 10                          | 50,6        |
| 4,5 — 5,0 | <i>M</i> <sub>b</sub> | 9                           | 61,0        |

Es mag etwas überraschen, daß der mittlere Durchmesser von den heißesten *B*-Sternen zu den *A*-Sternen zunächst abnimmt, um dann wieder zu wachsen. Doch ist zu bedenken, daß die *B*-Sterne im Durchschnitt eine wesentlich größere Masse als die späteren Typen haben. Die Durchmesser der früheren Typen *B* und *A* sind von bemerkenswerter Gleichheit, so daß die statistischen Untersuchungen von *Charlier* und anderen, die auf der Annahme gleicher absoluter Leuchtkraft innerhalb eines Typs beruhen, darin eine Stütze erfahren. Für die späteren Typen werden die Durchmesser sehr groß. Dies ist nach unserer gegenwärtigen Auffassung nur für die Gigantensterne richtig — doch liegen die Zwergsterne wegen ihrer Lichtschwäche sämtliche außerhalb des Temperaturmessungsbereiches nach der Methode *Wilsings*, sodaß das Resultat den Erwartungen entspricht.

Böttlinger.

<sup>1)</sup> Vgl. *Naturwissenschaften* 1921, Heft 31, *E. v. d. Pahlen*.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von

**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 10. (Seite 217—240)

10. März 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Die Bewegung der vier inneren Planeten mit besonderer Berücksichtigung der Bewegung des Merkurperihels. Von *Hans Kienle, München*. (Mit 1 Abbildung.) S. 217.

Die Naturwissenschaft im Dienste der Fischerei. Von *Paulus Schiemenz, Berlin-Friedrichshagen*. S. 224.

### Besprechungen:

Euler, Hans. Chemie der Enzyme. 2. Auflage. Von *Felix Ehrlich, Breslau*. S. 228.

Föppl, A. und L. Drang und Zwang, eine höhere Festigkeitslehre für Ingenieure. Von *R. Grammel, Stuttgart*. S. 228.

Ebert, H. Anleitung zum Glasblasen. Von *K. Bennewitz, Berlin*. S. 229.

Mosler, H. Einführung in die moderne drahtlose Telegraphie und ihre praktische Verwendung. Von *G. Leithäuser, Berlin*. S. 230.

### Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Mach und die Atomistik. Von *J. Petzoldt Berlin-Spandau*. S. 230.

Bemerkung hierzu. Von *Hans Thirring, Wien*. S. 231.

### Deutsche Geologische Gesellschaft:

Südamerikanische Minerallagerstätten. S. 231.

Kraftübertragung und Höchstspannungen. S. 231.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten. S. 233-239.

Zur Wünschelrutenfrage. Über die Kernstruktur der Atome. Duralumin (mit 1 Abbildung). Ein photochemisches Modell der Retina. Aus der Tier- und Pflanzenwelt Brasiliens.

Astronomische Mitteilungen. S. 239-240.

Neuere astronomische Arbeiten. Rubidium in der Sonnenatmosphäre.

Berichtigung. S. 240.

# GOERZ

## Achromatische Lupen



3,3 X und 6,6 X

**Opt. Anst. C. P. Goerz**  
**A.-G. BERLIN-FRIEDENAU**

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 40.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 4.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck- / für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 2032 Julius Springer,  
für Anzeigen- u. Beilagenbeträge: Berlin Nr. 11893 Julius Springer,  
Konten: für alle übrigen Zahlungen: Berlin Nr. 11100 Julius Springer.

### Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

**J. D. Möller, Wedel in Holstein.**

Gegründet 1864.

(250)

### Naturwissenschaften

Jg. 1913—1921 cpl. und einzelne Jahrgänge

**Kauft**

(277)

**Walther Brinkmann, Leipzig-Schönefeld.**

### Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

**Kurzer Leitfaden der Elektrotechnik** für Unterricht und Praxis in allgemeinverständlicher Darstellung. Von Rudolf Krause, Ingenieur. Vierte, verbesserte Auflage. Herausgegeben von Professor H. Vieweger. Mit 375 Textfiguren. (XI, 267 S.) 1920. Gebunden Preis M. 20.—

**Theorie der Wechselströme.** Von Dr.-Ing. Alfred Fraenckel. Zweite, erweiterte und verbesserte Auflage. Mit 237 Textfiguren. (VIII, 352 S.) 1921. Gebunden Preis M. 63.—

**Die Transformatoren.** Von Dr. techn. Milan Vidmar, ordentl. Prof. der Universität Ljubljana, Direktor der Maschinenfabriken und Gießereien A.-G., Ljubljana. Mit 297 Textabbildungen. (XVI, 702 S.) 1921. Preis M. 110.—; gebunden M. 120.—

**Radiotelegraphisches Praktikum.** Von Dr.-Ing. H. Rein. Dritte, umgearbeitete Auflage. Von Dr. K. Wirtz, ordentlicher Professor der Elektrotechnik an der Technischen Hochschule zu Darmstadt. Mit 432 Textabbildungen und 7 Tafeln. (XVIII, 558 S.) 1921. Gebunden Preis M. 120.—

**Handbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie.** Ein Lehr- und Nachschlagebuch der drahtlosen Nachrichtenübermittlung. Von Dr. Eugen Nesper. Mit 1321 Abbildungen im Text und auf Tafeln. (L, 1254 S.) Zwei Bände in Ganzleinen gebunden Preis M. 390.—

Hierzu Teuerungszuschläge.

### Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu Kaufen gesucht. Angebote unter Nw. 236 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

### Lagermetalle und ihre technologische Bewertung.

Ein Hand- und Hilfsbuch für den Betriebs-Konstruktions- und Materialprüfungingenieur. Von Oberingenieur J. Czochralski und Dr.-Ing. G. Welter. Mit 130 Textabbildungen. (VI, 122 S.) 1920.

Preis M. 9.—; geb. M. 12.— (u. Teuerungszuschlag)

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9



## Die Bewegung der vier inneren Planeten mit besonderer Berücksichtigung der Bewegung des Merkurperihels.

Von Hans Kienle, München.

Die Gültigkeit des Newtonschen Gravitationsgesetzes und die Möglichkeit, mit diesem Gesetze allein alle Bewegungserscheinungen im Planetensysteme zu erklären, sind von den Astronomen seit langem diskutiert worden. Der vor allem bei Merkur zutage getretene Widerspruch zwischen Beobachtung und Theorie hat gelegentlich wohl auch über den engeren Kreis der Fachleute hinaus Interesse erweckt und zu Deutungsversuchen Anlaß gegeben. Aber erst als *Einsteins* Theorie der Gravitation sich Bahn brach und gerade in der bis dahin nicht oder doch nur durch Hypothesen erklärlichen Bewegung des Merkurperihels eine vornehmliche Stütze zu finden glaubte, wurde dieses Problem von allgemeiner und grundlegender Bedeutung. Es ergab sich daraus für alle, die sich mit der neuen Theorie befaßten, die Notwendigkeit, ihr Augenmerk auch astronomischen Fragen zuzuwenden, um so mehr, als die Relativitätstheorie von seiten der Astronomie auch noch andere Bestätigungen sich erhoffte und in ihren letzten Folgerungen auf kosmologische Probleme stieß (vor allem die Endlichkeit und Krümmung des Raumes), die bis dahin wohl nur von Astronomen ernstlich diskutiert worden waren. Dieses so geweckte Interesse an Dingen, mit denen man sich vorher kaum befaßt hatte, konnte natürlich nicht immer sofort befriedigt werden, und so ist es erklärlich, daß sich in den Diskussionen über die Relativitätstheorie oft eine erschreckliche Unkenntnis der einschlägigen Fragen und Tatsachen offenbarte. Es soll daher im folgenden der Versuch gemacht werden, vor einem weiteren Kreise den Komplex von Fragen aufzurollen, von dem die Bewegung des Merkurperihels nur ein Teil ist, und zu zeigen, was die Theorie heute von der Diskussion der Planetenbeobachtungen überhaupt erwarten kann.

### Die klassische Theorie der Planetenbewegung.

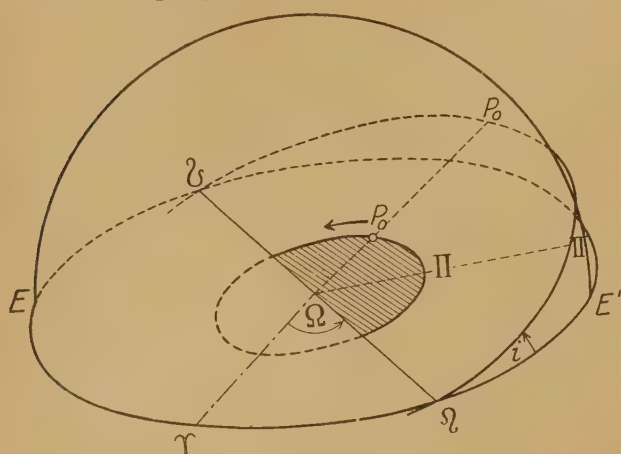
Das einzige Grundgesetz, das die klassische Himmelsmechanik der Theorie der Planetenbewegungen zugrunde legt, ist das *Newtonsche Gravitationsgesetz*, welches besagt, daß, wo immer zwei Körper im Raume sich befinden mögen, sie sich gegenseitig anziehen mit einer Kraft, welche ihren beiderseitigen „Massen“ direkt, dem Quadrate ihrer Entfernung von einander umgekehrt proportional ist. Es ist bekannt, daß sich aus diesem einen Grundgesetze in

mathematisch einfacher Weise die drei Keplerschen Gesetze ableiten lassen, welche die Bewegungen der Planeten um die Sonne beschreiben. Aber man darf dabei nicht vergessen, daß diese Ableitung nur von dem sogen. „Zweikörperproblem“ ausgeht, indem sie jeweils nur einen einzelnen Planeten in seinem Verhältnis zur Sonne betrachtet, und von allen anderen sonst noch vorhandenen Massen absieht. Nur in diesem einfachsten Falle ist die Bahn des Planeten eine zeitlich und räumlich unveränderliche Ellipse, wie dies die Keplerschen Gesetze ausdrücken. Daß diese Gesetze trotz des Vorhandenseins mehrerer Körper im Sonnensystem eine so sehr brauchbare Beschreibung der Bewegungen der Planeten liefern, so daß *Kepler* sie empirisch aus den Beobachtungen hatte finden können, lange bevor *Newton* den tieferen Grund für ihre Existenz anzugeben vermochte, ist nur dem Umstande zu verdanken, daß eine der Massen, die Sonne, als Zentralkörper von überwiegender Größe auftritt und dadurch die Bewegungen im wesentlichen ganz allein beherrscht. Wäre auch nur einer der Planeten von ähnlich großer Masse wie die Sonne und läge unser System nicht so isoliert im Raume, weit ab von allen anderen Systemen, so daß die Bewegungen der Fixsterne sich erst in langen Zeiträumen bemerkbar machen, dann vermöchten wir kaum zu sagen, welchen Weg der Entwicklung die Theorie des Planetensystems genommen hätte. Wir hätten vielleicht kein Newtonsches Gravitationsgesetz gefunden und wären kaum zu einem Kopernikanischen Weltsystem mit der ruhenden Sonne und dem stillstehenden Fixsternhimmel gekommen, sicherlich aber nicht zu den einfachen Keplerschen Gesetzen. Denn man weiß, daß bereits das „Dreikörperproblem“ unserer klassischen Mechanik mathematisch streng nicht lösbar ist, und in den verschiedensten numerisch durchgerechneten Fällen gewisser fingierter Systeme mit zwei und mehr gleich großen Massen haben sich die seltsamsten Bahnformen ergeben, die kaum einer einfachen Beschreibung zugänglich sind.

Da wir nun aber einmal in der angedeuteten glücklichen Lage sind — andere werden sie vielleicht als unglücklich bezeichnen, da sie Anlaß gegeben hat zu der Entwicklung einer „Absoluttheorie“ wie die Newtonsche — so hat in der Behandlung der Planetenbewegungen das folgende Verfahren Platz greifen können. Wir denken uns die Sonne fest im Nullpunkte des Koordinatensystems. Jeder Planet bzw. der Schwerpunkt des aus diesem Planeten und seinen Monden bestehenden Systems beschreibt dann

unter dem Einfluß der Anziehung der Sonne *allein* eine Ellipse, deren einen Brennpunkt die Sonne einnimmt. Diese Bewegung wird durch die Angabe der 6 „Bahnelemente“ festgelegt, die an Hand der nebenstehenden Figur erklärt werden sollen.

Als Fundamentalebene des Koordinatensystems dient die durch die Sonne gehende Ebene der Erdbahn, welche an der Sphäre als größter Kreis  $EE'$  (Ekliptik) erscheint. Ausgangsrichtung in dieser Ebene ist die Richtung nach dem Frühlingspunkt ( $\gamma$ ), d. i. der Schnittpunkt von Ekliptik und Äquator. Die innere Ellipse, deren oberhalb der Erdbahnebene gelegener Teil schraffiert ist, stelle die Bahn eines Planeten dar, die sich an die Sphäre als größter Kreis  $\Omega\Pi\mathcal{U}$  projiziert. Dann ist die Bahnebene zunächst festgelegt durch



Die 6 Bahnelemente.

1.  $i$  = Neigung der Bahn gegen die Ekliptik und

2.  $\Omega = \gamma\Omega$  = Länge des „aufsteigenden Knotens“ der Bahn auf der Ekliptik.

Die Lage der Bahn in der Ebene ist gegeben durch die Richtung nach dem Perihel  $\Pi$ , und zwar durch den Winkel:

3.  $\pi = \gamma\Omega + \Omega\Pi$  = Länge des Perihels.

Die Gestalt der Ellipse bestimmt sich durch

4.  $a$  = halbe große Achse (Einheit ist die halbe große Achse der Erdbahn) und

5.  $e$  = Exzentrizität.

Die Orientierung der Bewegung bezüglich der Zeitskala geschieht durch eine Angabe darüber, zu welcher Zeit sich der Planet an einem bestimmten Punkte seiner Bahn befunden hat. Als solche wählt man gewöhnlich

6.  $L_0 = \gamma\Omega + \Omega P_0$  = „mittlere Länge“ zur Epoche  $t_0$ , wobei unter „Epoche“ der Zeitpunkt zu verstehen ist, auf welchen sich das ganze Elementensystem bezieht, und  $P_0$  nicht die Lage des wirklichen, sondern eines fingierten Planeten ist, der gleichzeitig mit dem wirklichen durch das Perihel geht, sich aber mit gleichförmiger Geschwindigkeit auf einer Kreisbahn bewegt. Die vollständige Beschreibung der Bewegung erfordert schließlich noch die Angabe der Masse des Planeten, für welche die der Sonne als Einheit gewählt wird.

Um eine Vorstellung zu geben von den Verhältnissen, wie sie in unserem Sonnensysteme herrschen, ist in Tabelle 1 eine Zusammenstellung der Bahnelemente und der Massen der Planeten gegeben, die für die Epoche 1900 · 0 gelten. Unter  $1/m_D$  stehen die von Doolittle seiner unten zu besprechenden Theorie zugrunde gelegten Werte der reziproken Massen, unter  $1/m_N$  die von Newcomb als endgültig betrachteten und in seinen Planetentafeln benutzten.

Infolge der anziehenden Wirkungen, welche die Planeten gegenseitig aufeinander ausüben, bleiben sie nun aber nicht streng auf den durch die obigen Elemente charakterisierten Bahnen, sondern weichen mehr oder weniger von ihnen ab. Erst durch Angabe dieser „Störungen“ wird es möglich, die momentanen Orte der Planeten so zu berechnen, daß ein Vergleich mit den Beobachtungen angestellt werden kann. Mathematisch werden die Entwicklungen dabei heute allgemein so geführt, daß man die für die Epoche gültigen Bahnelemente als Variable betrachtet und ihre Veränderungen als Funktionen der Massen der „störenden“ Planeten darstellt. Es treten dabei zwei Arten von Gliedern auf: die „periodischen“, welche zeigen, wie der betreffende Planet infolge der durch die verschiedenen Umlaufzeiten veränderlichen Zusammenwirkungen der störenden Einflüsse um eine mittlere Bahn hin und her pendelt; und die

Tabelle 1.  
Bahnelemente und Massen der Planeten-Epoche 1900 · 0

|              | $\Omega$   | $i$       | $\pi$       | $a$     | $e$    | $L_0$        | $1/m_D$   | $1/m_N$   |
|--------------|------------|-----------|-------------|---------|--------|--------------|-----------|-----------|
| Merkur.....  | 47° 8' 41" | 7° 0' 11" | 75° 53' 50" | 0,3871  | 0,2056 | 182° 16' 17" | 7 500 000 | 6 000 000 |
| Venus.....   | 75 47 17   | 3 23 37   | 130 8 26    | 0,7233  | 0,0068 | 344 22 11    | 408 134   | 408 000   |
| Erde.....    | 0 0 0      | 0 0 0     | 101 13 7    | 1,0000  | 0,0167 | 100 40 57    | 327 000   | 329 390   |
| Mars.....    | 48 47 12   | 1 51 1    | 334 13 6    | 1,5237  | 0,0933 | 294 15 53    | 3 093 500 | 3 093 500 |
| Jupiter..... | 99 25 36   | 1 18 31   | 12 43 14    | 5,2026  | 0,0483 | 238 7 46     | 1 047,88  | 1 047,35  |
| Saturn.....  | 112 47 26  | 2 29 33   | 91 5 54     | 9,4547  | 0,0559 | 266 35 52    | 3 501,6   | 3 501,6   |
| Uranus.....  | 73 28 38   | 0 46 21   | 171 32 55   | 19,2181 | 0,0463 | 244 12 33    | 22 800    | 22 869    |
| Neptun.....  | 130 40 53  | 1 46 45   | 46 43 38    | 30,1996 | 0,0090 | 84 27 50     | 19 700    | 19 314    |



„säkularen“ Glieder, welche die mit der Zeit fortschreitenden Veränderungen der mittleren Bahn angeben. Es ist nicht leicht, mit wenig Worten eine allgemein und klar verständliche Vorstellung zu geben von der Aufgabe, vor die sich die Astronomie bei der Lösung dieses Problems gestellt sieht. Man muß sich im wesentlichen wohl damit begnügen, die ungeheure Kompliziertheit der Aufgabe etwas zu beleuchten und darauf hinzuweisen, daß man hier ganz besonders — wie im übrigen fast überall in der Astronomie — nur auf dem Wege schrittweiser Näherungen zum Ziele zu kommen vermag. Denn es handelt sich um zwei Probleme, die sich praktisch nicht trennen lassen. Auf der einen Seite müssen die Bahnen und ihre Veränderungen empirisch festgestellt, auf der anderen die zu erwartenden Störungsbeträge theoretisch ermittelt werden, und aus dem Vergleiche beider muß sich zeigen, ob die Theorie den Beobachtungen Genüge leisten kann. Nun muß aber die Störungstheorie Gebrauch machen von den Bahnelementen und Massen und eine Diskussion der Beobachtungen ist bei der großen Anzahl der Unbekannten (8 Massen,  $8 \times 6$  Bahnelemente und dazu deren periodische und säkulare Veränderungen) nur möglich, wenn man auf Grund der durch die Theorie vermittelten Kenntnisse die Aufgabe in einzelne getrennt zu behandelnde Teilaufgaben zerlegen kann. Nicht zu vergessen der Schwierigkeiten, welche die Festlegung des Koordinatensystems bereitet! Dieses ist uns ja nur durch die Bewegung der Erde relativ zur Sonne und zum Fixsternsystem gegeben, und alle Störungen in dieser Bewegung gehen in die Untersuchungen mit ein. Man muß sich unbedingt einmal über die enge Verknüpfung aller astronomischen Größen klar werden — *Bauschinger* hat seinen Enzyklopädieartikel (VI, 2, 17) teilweise unter diesem Gesichtspunkte abgefaßt — um einzusehen, wie vorsichtig man sein muß, wenn man ein einzelnes Problem herausgreifen will, dessen Lösung unter Umständen sehr weite Kreise zieht. Wir werden Gelegenheit haben, darauf an anderer Stelle zurückzukommen.

#### Die theoretischen Säkularvariationen der vier inneren Planeten.

Für das folgende wollen wir uns nur mit dem Teile des Planetenproblems befassen, den man unter der Bezeichnung „Säkularvariationen der vier inneren Planeten“ (d. h. Merkur, Venus, Erde, Mars) begreift. Dabei ist ein wichtiges Ergebnis der Himmelsmechanik gleich hervorzuheben, das Theorem von der Konstanz der großen Achsen, *Laplace* hat nämlich gezeigt, daß in den Entwicklungen für die großen Achsen der Planetenbahnen keine säkularen Glieder auftreten, solange man sich auf die ersten Potenzen der Massen beschränkt, und hat z. T. darauf seinen berühmten „Stabilitätsbeweis“ gegründet, der aber im strengen Sinne kein solcher ist, da er die Un-

veränderlichkeit der Abstände der Planeten zwar für sehr große, aber eben doch nicht für „unendlich große“ Zeiträume garantiert. *Poisson* und *Lagrange* haben die Gültigkeit des *Laplace'schen* Theorems auch noch bezüglich der zweiten Potenzen der störenden Massen nachgewiesen. Die großen Achsen scheiden also für die folgenden Betrachtungen aus und ebenso können wir von dem unter 6. figurierenden Elemente absehen, dessen Säkularvariation in der Hauptsache auf die des Koordinatensystems hinauskommt. Zu untersuchen bleiben also die Säkularvariationen von  $e$ ,  $\pi$ ,  $i$  und  $\Omega$ , die wir in der Form von Differentialquotienten schreiben wollen,  $d e/d t$ , ..., wo  $t$  in Jahrhunderten gezählt ist. Für die Elemente  $\pi$  und  $\Omega$  wird man in den einschlägigen Arbeiten gewöhnlich nicht die Variationen selbst, sondern die mit  $e$  bzw.  $\sin i$  multiplizierten Beiträge angegeben finden. Dies hat seinen Grund darin, daß sich aus den Beobachtungen die Unbekannten gerade in diesen Kombinationen ergeben. Wir haben also als Säkularvariationen:  $d e/d t$ ,  $e d \pi/d t$ ,  $d i/d t$  und  $\sin i d \Omega/d t$  und wollen mit deren Theorie beginnen.

Die ersten Versuche zur Berechnung von Störungen wurden um die Mitte des 18. Jahrhunderts gemacht und fanden ihre Zusammenfassung in *Laplace's* berühmter „*Mécanique céleste*“ (1798—1825). In umfassender Weise hat dann *Leverrier* das Gesamtproblem behandelt (*Annales de l'Obs. de Paris*, V—XIV, 1859—1877) und seine Tafeln wurden schließlich abgelöst durch die heute allgemein benutzten von *Newcomb* und *Hill*, welche aus den eingehenden Untersuchungen in den von *Newcomb* herausgegebenen „*Astronomical Papers*“ (I—VII, 1882—1897) hervorgegangen sind. Den vier inneren Planeten hat *Newcomb* noch eine besondere Arbeit gewidmet (*The elements of the four inner planets and the fundamental constants of astronomy*, Washington 1895) und mit den theoretischen Säkularvariationen dieser Planeten allein befaßt sich eine für uns sehr wichtige Arbeit von *Doolittle* (*Secular variations of the four inner planets*, *Transactions of the American Phil. Soc. Philadelphia* 1912). Selbstverständlich sind diese wenigen historischen Angaben nur Marksteine der Entwicklung. Zum Ausbau der Theorie haben die berühmtesten Mathematiker und Astronomen des 18. und 19. Jahrhunderts beigetragen. Es gibt zwei dem Prinzip nach vollkommen verschiedene Methoden zur Ableitung der Säkularvariationen. Die eine geht von der allgemeinen Entwicklung der „Störungsfunktion“ nach fortschreitenden Potenzen der Exzentrizitäten und Neigungen aus. Sie besitzt den Vorzug, daß sie allgemein gültige analytische Ausdrücke liefert, in die die jeweils besten numerischen Werte der Konstanten eingesetzt werden können. Dagegen erfordert sie sofort einen bedeutenden Mehraufwand an Rechenarbeit, wenn man die Genauigkeit durch Hinzunahme von Gliedern höherer

Ordnung steigern will, vor allem dann, wenn es sich um große Exzentrizitäten und Neigungen handelt, wie dies bei Merkur der Fall ist. Diese Methode hat *Newcomb* bei seiner Theorie benutzt. Die zweite Methode, auf welche *Doolittle* seine Untersuchungen gründet, geht zurück auf ein Theorem von *Gauß*, das zeigt, wie man die Säkularvariationen allein berechnen kann, indem man die Massen der störenden Planeten sich gesetzmäßig über ihre ganze Bahn verteilt denkt. Die numerischen Rechnungen gestalten sich hier überaus einfach, müssen aber, und das ist der Nachteil, für jedes der Theorie zugrunde gelegte neue System von Elementen, also für jede neue Epoche, fast vollständig neu durchgeführt werden. Zudem gibt diese Methode streng nur die Störungen erster Ordnung, während bei der anderen auch teilweise Glieder zweiter Ordnung implizite enthalten sind. Vielleicht ist darauf ein Teil der gleich zu besprechenden Differenzen zurückzuführen, die zwischen den beiden Theorien von *Newcomb* und *Doolittle* sich zeigen. In der folgenden Tabelle 2 sind die theoretischen Säkularvariationen der vier in Frage stehenden Elemente zusammengestellt, unter *N* die von *Newcomb*, unter *D* die von *Doolittle* erhaltenen Werte, daneben die Differenzen beider unter *N—D*. Um einen Vergleich zu ermöglichen, sind die Werte *Newcombs* auf das von *Doolittle* benutzte System von Massen ( $1/m_D$  in Tabelle 1) reduziert. In welcher Weise das geschehen kann, wird unten am Beispiel des Merkurperihels erläutert werden. Zu bemerken ist noch, daß bei der Erde an die Stelle von  $d i/dt$  hier wie in allen späteren Tabellen die Änderung der Schiefe der Ekliptik,  $d \epsilon/dt$ , tritt, während  $d \Omega/dt$  ganz in Fortfall kommt.

Merkurbahn ( $e = 1/5$ ) für die Perihelbewegung selbst über 3" im Jahrhundert aus. Um so viel ist die theoretische Voreilung des Merkurperihels nach *Doolittle* kleiner als nach *Newcomb*. Da die Differenz sich gleichmäßig aus den Wirkungen der einzelnen störenden Planeten zusammensetzt und nicht nur etwa bei einem derselben auftritt, scheint sie im Wesen der beiden Methoden begründet. Es läßt sich leider nicht eindeutig entscheiden, welcher von beiden Werten als der objektiv „richtige“ zu betrachten ist, doch dürfte dem *Doolittleschen* größeres Vertrauen zuzusprechen zu sein.

Wie man sieht, zeigen die Perihel aller vier Planeten eine rechtläufig fortschreitende (d. h. entgegen dem Uhrzeiger) Bewegung, die einzig und allein aus den anziehenden Wirkungen auf Grund des Newtonschen Gravitationsgesetzes folgt. Es ist daher vielleicht am besten, gleich an dieser Stelle hervorzuheben, worin das wesentlich Neue der *Theorie Einsteins* besteht. Bei *Einstein* erfolgt nämlich bereits im Zweikörperproblem die Bewegung nicht in einer ruhenden Keplerschen Ellipse, sondern das Perihel dieser Ellipse dreht sich während eines Umlaufes des Planeten um den Betrag:

$$\epsilon = \frac{24 \pi^3}{c^2} \frac{a^2}{T^2 (1-e^2)}$$

wo  $\pi = 3,14 \dots$ ,  $c$  die Lichtgeschwindigkeit,  $T$  die Umlaufszeit ist. Bezeichnet man mit  $v_0$  das Mittel aus der größten und kleinsten Linear- geschwindigkeit des Planeten, so hat man für die Fortschreitung des Perihels während eines Umlaufs in Bogensekunden:

$$\epsilon'' = 3 \left( \frac{v_0}{c} \right)^2 \cdot 1\,296\,000''$$

Tabelle 2.

Die theoretischen Säkularvariationen der vier Elemente  $e$ ,  $\pi$ ,  $i$  und  $\Omega$  für die vier inneren Planeten nach *Newcomb* (*N*) und *Doolittle* (*D*).

|                         | Merkur   |          |            | Venus    |          |            | Erde     |          |            | Mars      |           |            |
|-------------------------|----------|----------|------------|----------|----------|------------|----------|----------|------------|-----------|-----------|------------|
|                         | <i>N</i> | <i>D</i> | <i>N—D</i> | <i>N</i> | <i>D</i> | <i>N—D</i> | <i>N</i> | <i>D</i> | <i>N—D</i> | <i>N</i>  | <i>D</i>  | <i>N—D</i> |
| $d e/dt \dots$          | + 4'',23 | + 4'',23 | + 0'',00   | — 9'',58 | — 9'',58 | 0'',00     | — 8'',56 | — 8'',57 | + 0'',01   | + 18'',71 | + 18'',70 | + 0'',01   |
| $d \pi/dt \dots$        | + 109,60 | + 108,91 | + 0,69     | + 0,39   | + 0,38   | + 0,01     | + 19,25  | + 19,25  | 0,00       | + 148,79  | + 148,74  | + 0,05     |
| $d i/dt \dots$          | + 6,76   | + 6,74   | + 0,02     | + 3,43   | + 3,43   | 0,00       | — 46,77  | — 46,77  | 0,00       | — 2,25    | — 2,29    | + 0,04     |
| $\sin i \, d \Omega/dt$ | — 92,50  | — 92,34  | — 0,16     | — 106,00 | — 106,03 | + 0,03     | —        | —        | —          | — 72,63   | — 72,51   | — 0,12     |

Wie man aus den unter *N—D* angeführten Zahlen sieht, sind die Differenzen zwischen beiden Theorien im allgemeinen unbedeutend und übersteigen nur in drei Fällen (in der Tabelle fettgedruckt) 5 Einheiten der letzten Dezimale. Es ist aber bemerkenswert, daß gerade in dem gegenwärtig am meisten interessierenden Falle, nämlich bei der Bewegung des Merkurperihels, schon in beiden, doch ganz auf „klassischem“ Boden stehenden Theorien eine erhebliche Differenz auftritt; denn der Betrag von 0'',69 in  $d \pi/dt$  macht trotz der großen Exzentrizität der

Das macht in 100 julianischen Jahren (von der Länge  $J = 365^d,250 = 31^s,5576 \cdot 10^6$ ):

$$d \pi/dt = \frac{100 J}{T} \epsilon''$$

Es ergibt sich für die 4 inneren Planeten die folgende kleine Übersicht (Tabelle 3).

Abgesehen von dieser Drehung der Apsidenlinie (so bezeichnet man die Verbindungslinie von Aphel und Perihel) führt *Einsteins* Theorie auf die Newtonsche Lösung des Zweikörperproblems. Für das Planetensystem als Ganzes wird



Tabelle 3.  
Zusatzbeträge zu den Säkularvariationen der  
Perihellängen nach Einsteins Theorie.

|          | $v_0(\text{km/sec})$ | $\varepsilon''$ | $T$                  | $d\pi/dt$ | $\varepsilon d\pi/dt$ |
|----------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------|-----------------------|
| Merkur.. | 48,88                | 0'',10 331      | 87 <sup>a</sup> ,969 | + 42'',89 | + 8'',82              |
| Venus... | 34,99                | 05 295          | 224,701              | 8,61      | 0,06                  |
| Erde.... | 29,77                | 03 831          | 365,256              | 3,83      | 0,06                  |
| Mars.... | 24,22                | 02 536          | 686,980              | 1,35      | 0,13                  |

man daher nach wie vor von den Entwicklungen der klassischen Theorie Gebrauch machen können und den aus ihnen folgenden Störungsbeträgen (Tabelle 2) einfach die in Tabelle 3 angegebenen Zusatzglieder anfügen. Da aus den Beobachtungen nur  $\varepsilon d\pi/dt$  bestimmt werden kann, und zwar höchstens auf eine Dezimale genau, erkennt man, daß lediglich bei Merkur eine merkliche Korrektur der alten Theorie erforderlich ist.

Die empirischen Werte für die Säkularvariationen der vier inneren Planeten und deren Widerspruch mit der Theorie.

Bevor wir uns mit der Kritik der Theorie befassen, müssen wir noch darauf eingehen, welche Werte für die Säkularvariationen aus den Beobachtungen abgeleitet worden sind. Die letzte eingehende Diskussion des Gesamtproblems hat *Newcomb* (a. a. O.) gegeben, und obwohl manche Bedenken gegen diese bereits laut geworden sind (wir werden darauf zu sprechen kommen), steht eine Neubearbeitung bis heute noch aus. Wir müssen also zunächst die von *Newcomb* als endgültig angesehenen Werte übernehmen und geben sie in der folgenden Tabelle 4 zusammen mit ihren mittleren Fehlern  $\varepsilon$  (aus *Newcombs* „wahrscheinlichen“ Fehlern umgerechnet) und den Differenzen  $\delta_N$  und  $\delta_D$  gegen die theoretischen Werte aus Tabelle 2 (im Sinne Beobachtung — Theorie). Es ist zu bemerken, daß die Zahlen  $\varepsilon$

nur die Unsicherheit der empirischen Werte ausdrücken. Die Unsicherheiten der Differenzen  $\delta$  sind natürlich größer, da in sie ja auch noch die von den ungenauen Massen und der angewandten Methode herrührenden Fehler der theoretischen Werte eingehen.

Berücksichtigt man die durch die mittleren Fehler  $\varepsilon$  charakterisierte Unsicherheit der empirischen Zahlenwerte, so findet man die theoretischen Säkularvariationen bis auf wenige Ausnahmen durch die Beobachtungen bestätigt. Die drei Fälle, in denen die Differenzen zwischen Theorie und Beobachtung wirklichen Anlaß zu Bedenken geben, da sie das Doppelte der angegebenen Fehler überschreiten, sind in der Tabelle fett gedruckt. Es sind dies:

1. In der Bewegung des *Merkurperihels* ein Überschuß von 42'' bzw. 45'' des empirischen Betrages über den theoretischen;
2. in der rückläufigen Bewegung des *Venusknotens* ein Zurückbleiben des empirischen Wertes hinter dem theoretischen;
3. in der Bewegung des *Marsperihels* ein Überschuß von rund 8'' des empirischen Betrages über den theoretischen.

Die Anomalie in der Merkurbewegung war schon von *Leverrier* bemerkt worden. Er hatte dafür den Betrag von 35'' angegeben.

Diese offenkundigen Widersprüche zwischen Beobachtung und Theorie gaben natürlich Anlaß zu ausgiebigen Diskussionen über ihre möglichen Ursachen. Dabei beschränkte man sich ausschließlich auf die Kritik der Theorie, die empirischen Werte als genügend verbürgt ansehend. Dies konnte bei dem vor allem in Frage stehenden Merkurperihel um so unbedenklicher geschehen, als hier eine so starke Diskrepanz auftritt, daß von einer neuen Diskussion der Beobachtungen zwar eine Modifikation des numerischen Wertes, nie aber eine vollständige Beseitigung der Differenz erwartet werden konnte. Die

Tabelle 4.

Die empirischen Werte der Säkularvariationen der vier inneren Planeten und ihre Differenzen gegen die theoretischen Werte *Newcombs* ( $\delta_N$ ) und *Doolittles* ( $\delta_D$ ).

|                            | Merkur   |               |            |            | Venus    |               |            |            |
|----------------------------|----------|---------------|------------|------------|----------|---------------|------------|------------|
|                            | Beob.    | $\varepsilon$ | $\delta_N$ | $\delta_D$ | Beob.    | $\varepsilon$ | $\delta_N$ | $\delta_D$ |
| $de/dt$ .....              | + 3'',36 | $\pm 0'',50$  | — 0'',87   | — 0'',87   | — 9'',46 | $\pm 0'',20$  | + 0'',12   | + 0'',12   |
| $\varepsilon d\pi/dt$ .... | + 118,24 | $\pm 0,40$    | + 8,64     | + 9,33     | + 0,29   | $\pm 0,20$    | — 0,10     | — 0,09     |
| $di/dt$ .....              | + 7,14   | $\pm 0,50$    | + 0,38     | + 0,40     | + 3,87   | $\pm 0,30$    | + 0,44     | + 0,44     |
| $\sin i d\Omega/dt$        | — 91,89  | $\pm 0,45$    | + 0,61     | + 0,45     | — 105,40 | $\pm 0,12$    | + 0,60     | + 0,63     |

|                            | Erde     |               |            |            | Mars      |               |            |            |
|----------------------------|----------|---------------|------------|------------|-----------|---------------|------------|------------|
|                            | Beob.    | $\varepsilon$ | $\delta_N$ | $\delta_D$ | Beob.     | $\varepsilon$ | $\delta_N$ | $\delta_D$ |
| $de/dt$ .....              | — 8'',55 | $\pm 0'',09$  | + 0'',01   | + 0'',02   | + 19'',00 | $\pm 0'',27$  | + 0'',29   | + 0'',30   |
| $\varepsilon d\pi/dt$ .... | + 19,48  | $\pm 0,12$    | + 0,23     | + 0,23     | + 149,55  | $\pm 0,35$    | + 0,76     | + 0,81     |
| $di/dt$ .....              | — 47,11  | $\pm 0,23$    | — 0,34     | — 0,34     | — 2,26    | $\pm 0,20$    | — 0,01     | + 0,03     |
| $\sin i d\Omega/dt$        | —        | —             | —          | —          | — 72,60   | $\pm 0,20$    | + 0,03     | — 0,09     |

Größe des Zahlenwertes spielte aber nur eine untergeordnete Rolle, solange es sich um mehr oder weniger ad hoc konstruierte Hypothesen handelte, die einer weitgehenden Anpassung an spezielle numerische Verhältnisse fähig waren. Heute ist die Sachlage eine etwas andere. Denn die aus *Einsteins* Theorie folgenden Zusatzbeträge zu den Newtonschen Störungen sind durch anderweitige astronomische Konstanten (siehe die Formeln!) numerisch sehr genau festgelegt und erlauben keinerlei Abänderung. Und da gleichzeitig andere Theorien auftreten<sup>1)</sup> mit dem Anspruche, eine der Einsteinschen analoge Formel, nur mit anderem Zahlenfaktor, gefunden zu haben, so daß sich gewisse Bruchteile des Einsteinschen Wertes für die Bewegung des Merkurperihels ergeben (z. B.  $\frac{2}{3}$  oder  $\frac{5}{6}$ ), so kommt es heute wesentlich darauf an, zu prüfen, wie groß und wie genau der empirische Wert für diese Zahl ist. Dieser Frage ist *Grossmann* in einem kürzlich erschienenen Aufsatz (*Astr. Nachr.* 214, 41; *Auszug Zeitschr. f. Phys.* V, 280) nachgegangen und dabei zu Ergebnissen gelangt, welche das Vertrauen in die Zahlenangaben *Newcombs* etwas zu erschüttern geeignet erscheinen. Es ist von physikalischer Seite mit einem gewissen Vorwurfe darauf hingewiesen worden, daß es bisher keinem Astronomen eingefallen sei, an dem *Newcombschen* Werte für das Merkurperihel zu rütteln und daß man ihn jetzt auf einmal, wo die Relativitätstheorie ihn zu erklären sich erdreiste, verdächtigen und wesentlich verkleinern wolle. Wir haben oben versucht, eine Erklärung für diese Tatsache zu geben, und fügen nur noch hinzu, daß eine eingehende Nachprüfung der *Newcombschen* Rechnungen nicht möglich ist, da sie nur in einem Auszuge vorliegen, und daß eine Neubearbeitung, die immer dringlicher erscheint, auf außerordentliche Schwierigkeiten stößt wegen des erforderlichen Stabes von Hilfskräften und des Zusammenhanges des Planetenproblems mit einer Reihe anderer Probleme.

#### Kritik der klassischen Theorie.

Nachdem wir die bisherigen Ergebnisse von Theorie und Beobachtung kennen gelernt haben, wenden wir uns deren genauerer Kritik zu und beginnen mit der Theorie. Dies wird einen Exkurs nötig machen auf ein empirisches Problem: die Bestimmung der Massen der Planeten; denn diese sind es, welche die theoretischen Störungswerte in erster Linie bestimmen. Die Bahnelemente spielen eine untergeordnete Rolle und sind jedenfalls hinreichend genau bekannt, so daß wir auf sie bei der Abschätzung der Zuverlässigkeit der theoretischen Säkularvariationen keine Rücksicht zu nehmen brauchen. Die Theorie gibt daher die Säkularvariationen als Funktionen der einzelnen störenden Massen, und zwar in einer Form, die

wir, ohne uns mit zu viel Formeln und Zahlen aufzuhalten, nur am Beispiel der Perihelbewegungen des Merkur und Mars vorführen wollen. Es bezeichnen der Reihe nach  $1 + v$ ,  $1 + v'$ ,  $1 + v''$ , . . . die Korrekturfaktoren, mit denen die der Theorie zugrunde gelegten Massen  $m$ ,  $m'$ ,  $m''$ , . . . von Merkur, Venus, Erde, . . . zu multiplizieren sind, um die wirklichen Massen zu erhalten. Dann erscheinen als Ergebnis der Theorie die genannten zwei Säkularvariationen in der folgenden Form (die Zahlenwerte sind der Arbeit *Doolittles* entnommen und in der Stellenzahl zweckentsprechend gekürzt):

| Merkur<br>$d\pi/dt =$ | Mars<br>$d\pi/dt =$ | Einfluß<br>von |
|-----------------------|---------------------|----------------|
| + 529'',706           | + 1594'',710        |                |
| + 0,00 $v$            | + 0,62 $v$          | Merkur         |
| + 276,19 $v'$         | + 49,49 $v'$        | Venus          |
| + 90,70 $v''$         | + 229,04 $v''$      | Erde           |
| + 2,47 $v'''$         | + 0,00 $v'''$       | Mars           |
| + 152,90 $v^{IV}$     | + 1247,25 $v^{IV}$  | Jupiter        |
| + 7,26 $v^V$          | + 66,78 $v^V$       | Saturn         |
| + 0,14 $v^{VI}$       | + 1,20 $v^{VI}$     | Uranus         |
| + 0,04 $v^{VII}$      | + 0,34 $v^{VII}$    | Neptun         |

Die je in der ersten Zeile stehenden Zahlen entsprechen dem in Tabelle 1 unter  $1/m_D$  angegebenen System von Massen; darunter stehen dann die aus der Theorie folgenden Zahlenkoeffizienten, mit denen multipliziert die Größen  $v$  erscheinen und die vor allem von der Entfernung und der Masse des störenden Planeten abhängen. So haben z. B. bei Merkur den größten Einfluß Venus wegen ihrer Nähe, Jupiter wegen seiner großen Masse. Bei Mars überwiegt bei weitem Jupiter, weil hier beide Bedingungen zusammentreffen. Für alle anderen Säkularvariationen treten ganz ähnlich gebaute Gleichungen auf. Wir haben uns hier auf die Perihelbewegungen beschränkt, weil, wie schon hervorgehoben, die Relativitätstheorie vorläufig nur in diesem Punkte zu einem von der klassischen Himmelsmechanik abweichenden Resultate gelangt, dagegen die Ergebnisse bezüglich aller anderen Elemente unberührt läßt.

Die Frage nach der Sicherheit der theoretischen Werte der Säkularvariationen ist identisch mit der Frage nach der Genauigkeit, mit der sich die Größen  $v$  bestimmen lassen. Wir müssen daher jetzt kurz darauf eingehen, welche Methoden zur Ableitung der Massen der Planeten zur Verfügung stehen, welches ihre Ergebnisse sind und welches System von Massenwerten wohl heute den größten Anspruch darauf hat, als das wahrscheinlichste bezeichnet zu werden.

#### Bestimmung der Massen der Planeten.

Ganz allgemein ist zu sagen, daß die Massen der Planeten sich ergeben aus den an-

<sup>1)</sup> Siehe *Wiechert*, *Annalen der Physik* IV 63, 301.



ziehenden Wirkungen, die sie ausüben. Als wichtigsten Ausdruck, wenn wir von dem Newtonschen Grundgesetz selbst absehen, kennen wir:

1. Das dritte Keplersche Gesetz, das gewöhnlich in der Form zitiert wird: die Quadrate der Umlaufzeiten  $T$  der Planeten verhalten sich wie die Kuben ihrer mittleren Entfernungen  $a$  von der Sonne; in mathematisches Gewand gekleidet: der Quotient  $a^3/T^2$  ist eine für das ganze Sonnensystem charakteristische Konstante. Diese Formulierung setzt aber unendlich kleine Massen der Planeten voraus. In Strenge lautet das Gesetz:

$$\frac{a^3}{T^2} = \left(\frac{k}{2\pi}\right)^2 (1+m)$$

d. h. der fragliche Quotient ist nicht konstant  $= k^2/4\pi^2$  ( $k$  = „Gaußsche Konstante“), die Konstante erscheint vielmehr multipliziert mit dem Faktor  $(1+m)$ , wo  $m$  die Masse des betrachteten Planeten ist. Man müßte also sagen: Die Quadrate der Umlaufzeiten verhalten sich wie die durch die jeweilige Summe der Massen der Sonne und des Planeten geteilten Kuben der mittleren Entfernungen:

$$T^2 : (T')^2 : \dots = \frac{a^3}{1+m} : \frac{(a')^3}{1+m'} : \dots$$

Kennt man die Umlaufzeiten  $T, T', \dots$  und die Achsen  $a, a', \dots$  der Bahnellipsen, dann lassen sich aus dieser Beziehung die Massen  $m, m', \dots$  berechnen. Innerhalb des Systems Sonne + Planeten ist dieser Weg aber nicht gangbar, da sich durch Beobachtung der Planeten von der Erde aus zwar die Umlaufzeiten gut bestimmen lassen, nicht aber die Entfernungen. Es wird daher hier gerade umgekehrt die obige Beziehung, nachdem man sich anderweitig die Massen verschafft hat, dazu benutzt, die Entfernungen der Planeten von der Sonne abzuleiten. Dagegen wird das dritte Keplersche Gesetz von großer Bedeutung bei allen denjenigen Planeten, welche Monde besitzen, denn es gilt selbstverständlich auch innerhalb der Satellitensysteme, deren Bahnverhältnisse sich durch Beobachtungen feststellen lassen. In der Tat hat denn auch diese Methode für alle Planeten mit Ausnahme von Merkur und Venus, bei denen sich bis jetzt noch keine Monde haben auffinden lassen, die weitaus besten Werte für die Massen geliefert.

2. In zweiter Linie lassen sich die Massen aus den beobachteten *Säkularvariationen der Elemente*  $e, \pi, i$  und  $\Omega$  bestimmen. Denn wir sahen (S. 222), daß sich für jedes dieser Elemente und jeden Planeten eine Gleichung aufstellen läßt, welche die 8 Korrektionsgrößen  $v, v', \dots$  für die angenommenen Massenwerte enthält. Für jeden Planeten hat man 4, für die Erde 3 (wegen des Aus-

falls von  $d\Omega/dt$ ) solcher Gleichungen, im ganzen also 31 Gleichungen mit 8 Unbekannten, die sich daraus mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate ableiten lassen. In der Tat spielt diese Ausgleichung in allen Theorien eine große Rolle und liefert für die mit Satelliten ausgestatteten Planeten eine wichtige Kontrolle der nach 1. bestimmten Massen. Leider aber stößt sie gerade bei den inneren Planeten, wo sie, wegen des Ausscheidens von 1. für Merkur und Venus, vor allem berufen erscheint, brauchbare Massen abzuleiten zu gestatten, auf erhebliche Schwierigkeiten wegen der offenbaren Anomalien in den Säkularvariationen gerade dieser Planeten, die sich nicht durch Korrekturen der Massen beseitigen lassen, ohne anderweitige Widersprüche nach sich zu ziehen. So würde z. B. die restlose Erklärung der Bewegung des Merkurperihels durch eine Änderung der Venusmasse, wie man aus den Zahlen S. 222 und dem empirischen Werte *Newcombs* ersieht, die Beziehung ergeben:

$$575'',10 = 529'',706 + 276'',19 v' \\ v' = +0,164$$

Damit würde sich die zu  $1/408\,134$  angesetzte Venusmasse auf  $1,164/408\,134 = 1/350\,677$  erhöhen, in vollkommenem Widerspruch zu allen übrigen Bestimmungen, die stets Werte in der Nähe von  $1/400\,000$  ergeben. Vor allem aber würden durch Verwendung dieser Venusmasse in allen anderen Elementen Widersprüche mit der Theorie hervorgerufen werden.

3. Am unsichersten ist die Bestimmung der Massen aus den *periodischen Störungen*, welche die Planeten auf die ihnen benachbarten ausüben. Gerade diese Methode ist es aber, die bisher für Merkur und Venus aus den angegebenen Gründen fast allein in Betracht kam.
4. Durch das genaue Studium der Bahnverhältnisse der zwischen Mars und Jupiter in so großer Anzahl vorhandenen *kleinen Planeten* hat man erkannt, daß einige von ihnen offenbar ganz besonders geeignet sind zur Bestimmung der Massen der großen Planeten, die natürlich die Bahnen dieser kleinen Himmelskörper sehr stark stören. Insbesondere hat diese Methode sehr brauchbare und mit den anderen Ergebnissen gut übereinstimmende Resultate für Jupiter gezeigt. Aber es scheint sich hier auch eine Möglichkeit aufzutun, in der Frage der Massen der inneren Planeten, insbesondere der Venusmasse, etwas weiter zu kommen. Der Vollständigkeit halber mag nicht unerwähnt bleiben, daß gelegentlich auch die bei *periodischen Kometen* auftretenden Störungen ein Mittel abgegeben haben, Planetenmassen zu

bestimmen. Doch hat diese Methode nur bei Jupiter eine Rolle gespielt, da sie im übrigen nur beschränkter Genauigkeit fähig ist.

5. Bei der Erde speziell steht noch eine rein „terrestrische“ Methode zur Verfügung, nämlich die direkte Messung der *Schwere an der Erdoberfläche* durch die Bestimmung der Länge des Sekundenpendels. Diese Methode ist deswegen von großer Bedeutung, weil sie durch den Vergleich mit den Ergebnissen des Studiums der planetaren Bewegungen eine Brücke zu schlagen gestattet von der für uns greifbaren Erde hinaus in den nur der Vorstellung und dem Fernrohre zugänglichen interplanetaren Raum.

Dies die Methoden! Es würde zu weit führen, wollten wir ihre Resultate im einzelnen mitteilen. Es muß hier genügen, mit ein paar Streiflichtern die Sachlage zu beleuchten.

(Schluß folgt.)

### Die Naturwissenschaft im Dienste der Fischerei.

Von Paulus Schiemenz, Berlin-Friedrichshagen.

Wenn man von der Fischerei heutzutage redet, so ruft man bei dem Publikum ganz bestimmte Gefühle hervor, einmal den Unwillen über die hohen Preise der Süßwasserfische, und andererseits ein beinahe mitleidiges Lächeln, weil man die Binnenfischerei für etwas ganz Unbedeutendes und Nebensächliches hält.

Nun, die Süßwasserfische können heutzutage nicht billig sein, denn zu ihrem Fange gehören leider Netze, und diese haben heute ungefähr den 80fachen Preis als vor dem Kriege. Außerdem sind natürlich auch alle anderen Bedarfsartikel für die Fischerei ungeheuer im Preise gestiegen und die neuen Pachtsummen bleiben dahinter nicht zurück. Die Fische können also *gar nicht billig sein*, ebenso wenig wie die anderen Lebensmittel und Gebrauchsgegenstände.

Was nun den Wert der Binnenfischerei, also der Fischerei im Süßwasser, anlangt, so ist dieser von jeher falsch beurteilt worden. Ja, sogar in Fachkreisen hat man ihn verkannt und früher mit einem jährlichen Rohertrage an Fischen in Deutschland von rund 7 Millionen Mark gerechnet. Man verstand es eben nicht, die Fischerei richtig zu bewerten und hielt sich im allgemeinen an die Pachtpreise, namentlich in den Seen, weil man wohl glaubte, daß diese die fruchtbarsten Fischgewässer seien. Man findet diesen Glauben auch heute noch vielfach verbreitet, ja, es gibt sogar Leute, welche der Meinung sind, daß es im wesentlichen die Teichwirtschaft sei, welche Deutschland mit Süßwasserfischen versorgt. Nichts ist aber verkehrter als dies. Obwohl die Teichwirtschaft in manchen Gegenden, z. B. in der Lausitz, in Sachsen — von dem der 187. Teil des ganzen Landes aus Fischteichen besteht —

und in Schlesien stark entwickelt ist, so spielt sie doch der gesamten anderen Süßwasserfischerei gegenüber eine so kleine Rolle, daß man sie bei der Statistik beinahe vernachlässigen könnte. Unsere Seen bringen viel, recht viel Fische, und die großen Fänge aus ihnen sind es, welche eben den Glauben an ihre vorherrschende Bedeutung hervorrufen. Die Flüsse bringen aber noch viel mehr Fische, man sieht es bloß nicht, weil hier nicht, wie in den Seen, ein Fischer die Fischerei hat und seine Fische alle an einer Stelle verkauft oder verladet, sondern eine mehr oder minder große Menge von Einzelfischern ihren Fang jeder für sich meist im kleinen verkauft, ein Handel, der sich den Augen des Publikums gänzlich zu entziehen pflegt. Berechnet man den Ertrag der Fischerei bei Seen und Flüssen auf das Hektar, so zeigen sich die Flüsse den Seen um ein Vielfaches überlegen, und das fruchtbarste Gewässer, welches es gibt, ist ein nahrungsreicher und gut befischter Forellenbach.

Diese vollständig falsche Beurteilung unserer Binnenfischerei hatte ihren Grund darin, daß man sich zu wenig mit ihrem Studium beschäftigte. Man kannte die Fischerei eben nur näher durch die Angelei und Teichwirtschaft, und die übrige Fischerei war und blieb ein Buch mit sieben Siegeln, von dem die Berufsfischer sich hüteten, den Schleier zu lüften, aus Angst, daß man sie dann nicht mehr für so arm halten würde als bisher, und sie stärker zur Steuer heranziehen würde.

Das ist nun im Laufe des letzten Menschenalters ganz anders geworden, und ich konnte auf Grund meiner Studien den jährlichen Rohertrag der deutschen Binnenfischerei *vor dem Kriege* auf 150 Millionen Mark (gegen 7 Millionen früher) schätzen, während der Rohertrag der Meeresfischerei nur mit 38 Millionen bewertet werden konnte. Allerdings ist hierbei ausdrücklich zu bemerken, daß es sich hier nur um den Wert handelt, nicht um die Masse der Fische. Berücksichtigt man diese, dann schneidet die Meeresfischerei nicht so schlecht ab.

Nachdem nun also der wahre Wert der Binnenfischerei erkannt war, hat sich natürlich auch ihre Beurteilung seitens der Staatsbehörden geändert, und während man früher nicht sonderlich geneigt war, größere Mittel für sie aufzuwenden, sondern diese im wesentlichen der Meeresfischerei zufließen ließ, gibt man jetzt auch etwas für die Binnenfischerei aus, was nicht nur in der Unterstützung der Vereine zum Ausdruck kommt, sondern auch in der Neuschaffung von Einrichtungen zur Hebung der Binnenfischerei. Es ist z. B. in Preußen eine besondere Landesanstalt für Fischerei in Friedrichshagen bei Berlin errichtet, in der sich biologische und chemische Laboratorien befinden und in denen die Oberfischmeister ausgebildet werden. Weiter bekommt jetzt jede Provinz ihren hauptamtlichen Oberfischmeister, während



bisher die Provinzen nebenamtlich meist von Meliorationsbaubeamten fischereilich verwaltet wurden. Man hat eben eingesehen, daß aus der Binnenfischerei noch etwas herauszuholen ist, und das soll nun geschehen.

Unterdessen hat unsere Binnenfischerei ein ganz anderes Gesicht bekommen, als sie früher hatte. In aller Stille haben die Teichwirte ihren Betrieb zu einer richtigen Wirtschaft entwickelt, nach dem Vorbilde der Landwirtschaft, namentlich der Viehzucht, und Praxis und Wissenschaft haben Hand in Hand studiert, ob man nicht auch in den wilden Gewässern eine ähnliche rationelle Wirtschaft einführen könne. Dieser Weg hat sich als gangbar erwiesen, und ich möchte hier nun an einigen Beispielen schildern, wie wir heute für unsere Fischerei arbeiten gegenüber den früheren Zeiten, wobei wir sehen werden, daß wir dabei eine ganze Reihe alter, festgewurzelter Vorstellungen über Bord werfen müssen.

Die frühere Fischerei stand im Zeichen der Schonung. Schon vor mehreren Jahrhunderten glaubte man, daß die Fischer über Gebühr die Gewässer ausplünderten, und die Behörden wetteiferten daher in der Auferlegung von Schonvorschriften. Es wurden eingeführt Schonreviere, Laichschonreviere, Schonzeiten, Maschenmaße und Mindestmaße, unter denen kein Fisch gefangen werden durfte.

Die Schonreviere sind Gewässerstrecken, in denen überhaupt nicht gefischt werden darf. Man hatte solche vornehmlich an den Mündungen der Ströme und Flüsse in das Meer und der Nebenflüsse in die Hauptströme errichtet. Man glaubte nämlich, daß unsere Ströme und die in ihrem Zuge liegenden Seen vornehmlich durch Wanderfische aus dem Meere bevölkert würden und wollte nun also verhüten, daß an den so geglaubten Einwanderungsstellen der ganze Segen von einzelnen Fischern fortgefangen und dadurch die Vermehrung der Fische untergraben würde. Die Fischer selbst glaubten nämlich, daß bei Hochwasser durch das ausströmende Süßwasser die Fische aus dem Meere angelockt würden und daß sie dann in die Flüsse ein- und stromauf wanderten. Es gibt ja einige Fische, bei welchen dies tatsächlich der Fall ist, ich erinnere nun an den Lachs, aber, man muß wohl sagen, törichterweise übertrug man diese Erscheinung auf alle anderen Fische, z. B. auch auf die *Bleie* (Brachsen) usw., ja sogar auf die Stichlinge. Diesem unter den Fischern beinahe allgemein und fest geglaubten Umstande verdanken wir eben die Errichtung der Schonreviere. Ich habe eigentlich nie begreifen können, wie man zu dieser geradezu unsinnigen Vorstellung kommen konnte, denn erstlich einmal fehlen die meisten Süßwasserfische im Meere und, wenn sie vorhanden sind, so kommen sie nur in einer Menge vor, die für die Bestockung unserer Binnengewässer mit Fischen gar nicht in Frage kommt. Man nehme

nur einmal die Elbe als Beispiel. Sie hat kräftige Nebenflüsse, wie z. B. die Saale, Spree, Havel, und die zwei zuletzt genannten haben in ihrem Zuge eine Unmenge von ziemlich großen Seen. Wenn also alle diese Gewässer im Frühjahr zu Hochwasser von dem Meere aus bevölkert werden sollten, so müßten ja von dort her die Fische in einer Menge einwandern, daß die Schifffahrt stillgelegt würde. Aber nichts davon ist bekannt. Aber gerade solche gänzlich unbegründeten Vorstellungen sind besonders schwer auszurotten. Hier mußte also die Wissenschaft eingreifen, und das hat sie denn auch getan, und zwar durch *Darmuntersuchungen* bei den sogenannten Einwandererfischen bei Hochwasser.

Es ist doch klar, daß, wenn diese Fische z. B. bei ihrer Einwanderung aus der Ostsee in das Frische Haff mitten in diesem Haffe gefangen werden, sie im Vorderdarm oder Magen eine Nahrung haben müßten, wie sie im Haffe vorkommt, im Enddarm dagegen müßte sich Nahrung aus dem Meere finden. Bei der Untersuchung stellte es sich nun aber heraus, daß der Magen und Vorderdarm tatsächlich Haffnahrung aufwies, der Enddarm aber Organismen mit Hüllen, wie sie nur in der Nogat vorkommen. Daraus kann nur der eine Schluß gezogen werden, daß diese Bleie nicht stromauf aus dem Meere einwanderten, sondern umgekehrt von dem Hochwasser aus der Nogat in das Haff hinuntergeschwemmt waren.

Das gleiche wurde bei den *Stichlingen* festgestellt. Bei ihnen war dieser Nachweis besonders wichtig, denn Stichlinge gibt es in der Ostsee allenthalben so viele, daß eine Einwanderung derselben an sich wohl möglich wäre. Die Wissenschaft mußte dies aber bestreiten, denn der dreistachelige Stichling, um den es sich hier handelt, ist so ungefähr der schlechteste Schwimmer unter den Süßwasserfischen, weil er nicht, wie die meisten übrigen Fische, mit dem Schwanz, sondern mit den Brustflossen zu schwimmen pflegt. Er kann sich überhaupt gegen einen Strom nicht halten, am allerwenigsten gegen ein Hochwasser anschwimmen. Er wird nun besonders im September an den Ufern des Pillauer Tiefes in geradezu ungeheuren Mengen gefangen, und es blieb wieder der Wissenschaft vorbehalten, dieses Rätsel zu lösen. Der Stichling ist, weil er ein so schlechter Schwimmer ist, darauf angewiesen, sich Schutz und Stützpunkte im Kraute zu suchen, und das tut er auch. Ende August pflegt nun dieses Kraut zu fallen, und damit verliert der Stichling seine Stützpunkte. Er gelangt somit ins freie Wasser und ist dort schutzlos der Strömung preisgegeben. Wenn also das Haff ausgehenden Strom hat, so geht er mit, weil er fortgerissen wird. Sowie er nun ins Pillauer Tief, welches ja eine verhältnismäßig schmale Wasserfahrstraße ist, gelangt, so bemerkt er vermöge seiner Seitenlinie (Sinnesorgan), daß rechts und links die Strömung schwächer ist, also dort ein Ufer vorhanden ist. Das ist für ihn

ein willkommenes Zeichen, und bewirkt, daß er sich sofort schräg nach dem Ufer flüchtet und, wenn er dort angelangt ist, bleibt er dort und ist nicht wieder fortzubekommen. Er häuft sich dort in solchen Massen an, daß man ihn bequem fortwährend mit einem Kätcher heraus schöpfen kann. Die Stichlinge, welche das Ufer nicht erreichen, werden in die Ostsee geschwemmt. Auch hier zeigte wieder die wissenschaftliche Darmuntersuchung, daß im Magen die Nahrung aus dem Pillauer Tief lag, der Enddarm aber Haffnahrung enthielt. Der Stichling wurde also nicht durch den ausgehenden Strom vom Meere aus in das Haff gelodt, sondern umgekehrt aus dem Haffe in das Meer geschwemmt.

Das gilt auch für viele andere Fische, so z. B. auch für die *Forelle*. Wir unterscheiden bei uns drei Forellen, die Bachforelle, Seeforelle (in den Alpenseen) und Meerforelle. Man hat diese drei im allgemeinen als verschiedene Arten angesehen. Allein ein englischer und ein russischer Fischforscher haben nachgewiesen, daß diese drei Forellen sich nicht so unterscheiden, daß sich die Aufstellung dreier Arten rechtfertigen ließe. Sie unterscheiden sich voneinander nicht mehr als die Forellen verschiedener unserer Flüsse. Es war daher anzunehmen, daß es sich hier nur um Forellen handle, die aus den Bächen durch das Hochwasser heruntergeschwemmt worden sind und sich nun in den Seen bzw. im Meere an die dortigen Verhältnisse angepaßt haben. Untersucht man nun z. B. die Fänge in den Aalhamen in der Elbe unterhalb der Havelmündung, so findet man tatsächlich darin Forellen, die aus ganz verschiedenen Forellenbächen stammen und hier zusammengeschwemmt worden sind. Dies geht hervor aus der Körperform und aus der verschiedenen Färbung. Etwas Ähnliches sehen wir an den Bleien dieser Fänge. Man kann bei ihnen ganz genau feststellen, daß ein Teil der Bleie (helle Farbe, kürzere Brustflossen) aus der Elbe stammt, ein Teil aber (längere Brustflossen, dunklere Farbe) aus der Havel. Wir können also auch hieraus wieder sehen, daß beständig Fische in dem Strome von der Strömung stromab, dem Meere zu, heruntergetrieben werden.

Also mit der Bestockung unserer Flüsse und Seen aus dem Meere ist es nichts, umgekehrt treiben eine Menge Fische stromab. Daher der Reichtum gerade der unteren Teile unserer großen Ströme an Fischen und an Fischern. Es hat also die Wissenschaft gezeigt, daß die bisherigen Schonreviere an den Flußmündungen vollkommen wertlos sind, daß sie vielmehr möglichst befischt werden müssen, damit wir die herausgeschwemmten Fische noch möglichst abfangen, ehe sie uns im Meere verloren gehen.

Als weiteres Beispiel für die Tätigkeit der Wissenschaft für die Fischerei erwähne ich den *Ukelei* (*Alburnus lucidus*). Dieser Fisch hat für die menschliche Ernährung kaum einen Wert, aber dennoch hat er für uns eine große Bedeu-

tung, weil er der gemeinste Fisch unseres Süßwassers ist und weil aus dem Silberglanz seiner Schuppen die künstlichen Perlen, Christbaumschmuck und dergleichen Sachen gemacht werden, womit außerordentlich viel Geld verdient wird. Das Merkwürdige an diesem Fisch ist, daß er erst von Ende September an in Schwärmen auftritt, so daß sich erst dann sein Fang lohnt. Woher kommen auf einmal diese Schwärme? Wenn der Fischer nicht weiß, wo ein Fisch herkommt, dann kommt er natürlich aus dem Meere. Das war also der allgemeine Glaube in den Haffen, wo er am meisten gefangen wird. Nun, auch hier haben wieder wissenschaftliche Darmuntersuchungen das Rätsel gelöst. Der Ukelei hat eine doppelte Ernährung. Im Laufe des Frühjahrs und des Sommers steht er am Ufer zerstreut und nährt sich vorwiegend von der sogenannten Luftnahrung, d. h. von den Insekten, die aus der Luft und von den Uferpflanzen ins Wasser fallen. Um den September herum läßt der Insektenflug nach und hört allmählich auf und der Ukelei muß sich nach einer anderen Nahrungsquelle umsehen. Nun hat gerade um diese Zeit in unseren Seen und Haffen das sogenannte *Plankton*, und zwar das tierische, seinen Hochstand erreicht. Der Ukelei macht nun Gebrauch davon, tritt vom Ufer zurück und rottet sich im freien Wasser zusammen, um dort zu äßen. Damit beginnt sein Fang. Der Ukelei ist also immer in den einzelnen Binnengewässern gewesen und hat mit dem Meere gar nichts zu tun. Nun ist es ganz auffällig, daß der Fang des Ukelei in den einzelnen Jahren recht verschieden sein kann. Auch dieses wird durch die wissenschaftlichen Planktonstudien aufgeklärt, indem festgestellt worden ist, daß durchaus nicht in allen Jahren das Plankton in den Seen gleichbeschaffen ist. Es wechselt außerordentlich sowohl in bezug auf seine Menge als in bezug auf seine Zusammensetzung, und das beeinflußt natürlich auch die Zusammenrottung der Ukelei.

Eine ganz einschneidende Bedeutung hat nach unseren Untersuchungen die Planktonbildung für den Zanderbestand unserer Gewässer. Wir haben Seen, in denen die *Zander* (und mit ihnen die *Stinte*) ganz verschwunden sind, andere Seen, in denen der Zanderbestand außerordentlich wechselt; wir haben hier sehr zanderarme und demgegenüber sehr zanderreiche Jahre. In einer dritten Art der Gewässer ist der Zanderbestand beständig reich und gut. Diese Unterschiede haben ihre Erklärung darin gefunden, daß die jungen Zander, ehe sie anfangen, zu rauben, des Tiefenplanktons zu ihrer Ernährung bedürfen. Befinden sie sich nun in einem mehr oder minder abgeschlossenen See, so haben sie, wenn in einzelnen Jahren das Tiefenplankton fehlt, nichts zu fressen und ebensowenig der Stint, der ihnen dann, wenn sie größer geworden sind, vornehmlich zur Nahrung dient. Stint und Jungzander müssen dann aus der tieferen Region des freien Wassers nach der Uferregion wandern, um sich zu er-



nähren, und dort werden sie dann rettungslos eine Beute des Barsches. Dauert die Armut oder das Fehlen des Tiefenplanktons ein paar Jahre hindurch im See an, dann sind Stint und Zander verschwunden. In der zweiten Art der Gewässer, z. B. im Stettiner Haff, wandern die Zander bei dem Fehlen der Tiefennahrung in die Oder ab und kehren von dort wieder zurück, wenn die Verhältnisse im Stettiner Haff sich für sie bessern. Daher der Wechsel im Zanderbestande. Bei der dritten Art der Gewässer, z. B. im Kurischen Haff, geht der Zander, wenn das Plankton mangelt, nur etwa 50 cm tiefer und findet dann in dem flachen Gewässer auf dem Boden einen reichlich gedeckten Tisch an den Linsenkrebsen, braucht also nicht abzuwandern oder zu verschwinden.

Wir hatten oben die Laichschonreviere erwähnt, die man mit großem Eifer zum Schutze der Fischerei eingeführt hatte. Wir denken jetzt infolge unserer Studien ganz anders über diese Einrichtung, halten sie in den meisten Gewässern für völlig überflüssig. Die wissenschaftlichen Studien haben nämlich ergeben, daß je massenhafter die Fische an einer bestimmten Stelle laichen, desto mehr prozentarisch von der Brut zugrunde geht, weil sich dann auch alle die Parasiten und Schädlinge um so stärker entwickeln. Wir bekommen viel mehr Brut, wenn die Fische weniger dicht laichen. Wir haben daher jetzt immer mehr und mehr diese Laichschonreviere auf.

Ganz besonders aber wollen wir jetzt gar kein Fischgewimmel mehr in unseren Gewässern haben, während man früher nur immer die Vermehrung der Fische im Auge hatte. Die wissenschaftlichen Nahrungsuntersuchungen haben nämlich ergeben — was man ja von vornherein hätte annehmen sollen —, daß die Menge der Fische im Verhältnis zu der in einem Gewässer vorhandenen Nahrungsmenge sehr häufig in einem Mißverhältnisse steht, es sind zuviel darin und darum haben wir gerade keinen guten Ertrag an Fischfleisch, auf den es uns doch schließlich allein ankommt. Die Teichwirtschaft hatte sich schon lange hiervon überzeugt und gefunden, daß gerade in der Beschränkung der Fischzahl der Schlüssel zum guten Ertrage liegt. Um nun eine solche Regelung vornehmen zu können, muß man aber wissen, was die einzelnen Arten von Fischen in den verschiedenen Altersstadien und Jahreszeiten fressen. Dies festzustellen war und ist die *Hauptaufgabe unserer wissenschaftlichen fischereibiologischen Forschung*, und durch sie sind wir allmählich in den Stand gesetzt worden, genau beurteilen zu können, welche Fische und wieviel Fische in ein Gewässer hineingehören, um einen guten Ertrag zu gewährleisten. Durch diese wissenschaftliche Forschung sind wir auch in der Lage, ein Gewässer zu taxieren, seinen Verkaufs- und Verpachtungswert festzustellen, was bisher kaum auf eine andere Weise zu erreichen war.

Solcher Beispiele könnten noch eine ganze

Reihe erwähnt werden, und es ist mit der Zeit dahin gekommen, daß die praktischen Fischer, welche sich der „Wissenschaft“ gegenüber anfänglich ganz ablehnend verhielten, allmählich nicht nur ihren Widerstand aufgegeben haben, sondern die Hilfe der Wissenschaft bei jeder Gelegenheit gern in Anspruch nehmen und nachsuchen. Es ist das also ein Vorgang, wie er sich ähnlich auch in der Landwirtschaft abgespielt hat, und wir dürfen wohl mit Recht hoffen, daß auf diese Weise auch die Fischerei sich immer mehr entwickeln und ertragreicher gestalten wird. Mit den bisherigen Erfolgen können wir ganz zufrieden sein.

Auch in einer anderen Beziehung hat die Wissenschaft der Fischerei ganz wesentliche Dienste geleistet, das ist in der *Frage der Abwasserschäden*. Erreicht haben wir da allerdings bisher nicht viel, die Industrie hat sich immer als die Stärkere erwiesen. Aber es ist uns doch gelungen, festzustellen, wie und wodurch die Abwässer auf die Fische wirken. Wir haben in dieser Beziehung ganz andere Vorstellungen gewonnen und sind in die Lage versetzt worden, die Abwässer richtig zu beurteilen. Wir dürfen wohl hoffen, daß mit dem Steigen der Erträge aus der Fischerei und der Erkenntnis ihrer volkswirtschaftlichen Bedeutung man auch dazu übergehen wird, die Fischerei besser gegen die Abwässer zu schützen.

Aus diesen Beispielen können wir ermessen, wie die Wissenschaft für die Fischerei arbeitet und daß etwas damit erreicht wird. Zum Schluß möchte ich noch erwähnen, daß wir auch schon zur *Behandlung unserer Gewässer* übergegangen sind. Früher nahm man die Gewässer, wie sie von Natur waren und wurden. Heute machen wir tiefe Eingriffe in sie, beschränken z. B. den Krautwuchs nach Kräften, da durch besondere Untersuchungen festgestellt worden ist, wie nachteilig dieser wirkt, wenn er in zu großen Mengen vorhanden ist, nicht nur, daß er unsere Gewässer versumpft, sondern er schädigt auch die Nahrung der Fische in ungeheurem Maße, ja unterbindet sogar die regelrechte Ausnutzung der Gewässer.

Weiter ist man dazu übergegangen, die *Fischgewässer künstlich zu düngen*, um eine stärkere Entwicklung der den Fischen als Nahrung dienenden kleinen Pflanzen und Tiere zu erzielen. Allerdings stecken diese Bemühungen noch in den Kinderschuhen und haben bisher wesentlich nur die Teichwirtschaft betroffen. Sowie dort aber einigermaßen sichere Erfolge erzielt sein werden, werden auch die wilden, natürlichen Gewässer gedüngt werden, wie unsere Äcker, damit wir immer mehr der Aufgabe gerecht werden, welche der Landesanstalt für Fischerei gestellt ist, nämlich durch passende Anwendung und Ausnutzung der naturwissenschaftlichen Disziplinen, als Zoologie, Botanik, Physik und Chemie, den Ertrag unserer Binnenfischerei zu erhöhen.

## Besprechungen.

**Euler, Hans, Chemie der Enzyme.** Zweite, nach schwedischen Vorlesungen vollständig umgearbeitete Auflage. I. Teil. *Allgemeine Chemie der Enzyme.* München und Wiesbaden, J. F. Bergmann, 1920. IX, 306 S., 32 Textfiguren und 1 Tafel. Preis M. 56,— + Teuerungszuschlag.

Unter dem Begriff der „Enzyme“ faßt man dem Pflanzen- oder Tierreich angehörende Stoffe von unbekannter Zusammensetzung und Konstitution zusammen, die zunächst im Organismus, aber auch unabhängig von den Organzellen, denen sie entstammen, nach Art von Katalysatoren chemische Reaktionen beschleunigen. Wenn auch die chemische Natur der Enzyme bis heute noch in Dunkel gehüllt ist, so haben doch die erstaunlichen chemischen Wirkungen dieser Stoffe, die unzweifelhaft zu den Lebensvorgängen selbst in naher Beziehung stehen, frühzeitig das lebhafteste Interesse der Naturforscher, besonders des Biologen und Mediziners, wachgerufen. Es genügt in dieser Hinsicht an die Bedeutung der Enzyme für die Vorgänge der Gärungserscheinungen und des Verdauungsprozesses zu erinnern.

Welche Unsumme bedeutsamer Forschungsarbeit in den letzten Dezennien auf diesem Gebiete geleistet worden ist, darüber unterrichten uns umfangreiche Sammelwerke, unter denen sich besonders das klassische Buch von C. Oppenheimer über die Fermente allgemeiner Anerkennung erfreut. Es schien nun eine sehr lohnende Aufgabe, die wichtigeren Tatsachen der Enzymchemie unter allgemeinen Gesichtspunkten zusammenzufassen und sie in das Lehrgebäude der allgemeinen und physikalischen Chemie einzuordnen. Der Verfasser hat diesen dankenswerten Versuch bereits vor 10 Jahren in einer Monographie gemacht, die als ein Hilfsbuch der wissenschaftlichen enzymologischen Forschung gedacht war.

Die zweite jetzt herausgegebene Auflage dieses Buches, die eine wesentliche Erweiterung und tiefgreifende Umarbeitung erfahren hat, läßt klar erkennen, welche großen Fortschritte in der Enzymchemie gerade in den letzten Jahren erzielt sind und welche entscheidende Entwicklung diese Wissenschaft seitdem durchgemacht hat. Die große Fülle des Stoffes hat eine Teilung des Buches in zwei Bände notwendig erscheinen lassen. Der erste jetzt vorliegende Band enthält eine allgemeine Übersicht über den gegenwärtigen Stand der Enzymchemie und die wichtigsten allgemeinen Tatsachen und Beziehungen. Der zweite demnächst erscheinende Band wird auf die präparative Chemie der Enzyme näher eingehen und eine Übersicht über die an den einzelnen Enzymen gewonnenen speziellen Ergebnisse bringen. Jeder der beiden Bände ist mit besonderen Verzeichnissen versehen und stellt ein für sich abgeschlossenes Ganzes dar.

Bei der Neubearbeitung seines Werkes ist der auf diesem Gebiete durch eigene Forschungen rühmlichst bekannte Verfasser von der Anschauung ausgegangen, daß die Enzymchemie gerade jetzt in eine neue Periode eintritt. An Stelle der früheren Sammlung und Sichtung eines noch in mancher Hinsicht recht unvollkommenen Beobachtungsmaterials erscheint jetzt die Zeit zu einer theoretischen Behandlung des Stoffes gekommen, auf Grund einer neugewonnenen, verfeinerten und zuverlässigen Methodik, wie sie sich namentlich aus den Forschungsergebnissen der letzten Jahre ergibt. Da das Lehrgebäude der Enzymologie immer noch in voller Entwicklung begriffen ist, hat der Ver-

fasser es gegenwärtig für das Wichtigste gehalten, diejenigen allgemeinen Tatsachen und Theorien der organischen und physikalischen Chemie darzustellen, welche die sichere Grundlage für die Enzymforschung bilden und bleiben müssen, und bei der Anwendung dieser Theorien auf enzymatische Probleme hervorzuheben, welchen Grad der Sicherheit man den gegenwärtig geltenden oder in Diskussion stehenden Anschauungen beimessen kann.

Dementsprechend werden nach einem einführenden Kapitel über die Darstellung, Reinigung und Aufbewahrung von Enzympräparaten und über ihre Charakterisierung in den folgenden Abschnitten sehr eingehend die physikalisch-chemischen Grundlehren in ihrer Anwendung auf die Enzymchemie dargelegt. Die Kapitel über die Bedeutung der Enzyme als Elektrolyte und als Kolloide und über das Wesen der allgemeinen chemischen Kinetik der Enzymreaktionen bilden die breitangelegte Basis für die weiteren Abhandlungen über Hemmungen und Aktivierungen von Enzymreaktionen, über Einfluß der Temperatur und Strahlung, über Gleichgewichte und Endzustände bei enzymatischen Reaktionen, über enzymatische Synthesen, über Wärmetönung und Energiewandlung bei enzymatischen Vorgängen, über spezifische Wirkungen der Enzyme und schließlich über die Enzymbildung in der lebenden Zelle.

Überall ist die klare, knappe und übersichtliche Darstellungsweise des Verfassers und seine vollständige Beherrschung und kritische Sichtung der einschlägigen Literatur zu bewundern. Eine sehr wesentliche Bereicherung hat der Text der Beschreibung außerdem durch eine Fülle sehr instruktiver Kurvenzeichnungen erfahren, unter denen sich auch viele wertvolle Belege aus den eigenen Arbeiten des Verfassers finden. Die Übersicht über die zahlreichen Literaturhinweise wird in ausgezeichnetem Maße durch ein sorgfältig durchgeführtes Namen- und Sachregister unterstützt.

Es kann nicht zweifelhaft sein, daß das vorliegende Werk des Verfassers, auf dessen Fortsetzung man gespannt sein kann, von grundlegender Bedeutung für die zukünftige Enzymforschung werden wird und die größte Beachtung aller derer verdient, die sich wie der Biochemiker, der Arzt oder der Technologe theoretisch und praktisch mit diesem wichtigen Zweige der Naturwissenschaften beschäftigen.

Felix Ehrlich, Breslau.

**Föpl, A. u. L., Drang und Zwang, eine höhere Festigkeitslehre für Ingenieure.** II. Band. München und Berlin, R. Oldenbourg, 1920. IX, 390 S. u. 144 Abb. Preis geh. M. 42.—, geb. M. 52.—, zuzüglich Teuerungszuschlag.

Nachdem bereits in der Besprechung des ersten Bandes (siehe „Naturwissenschaften“ 1920, H. 32, S. 633) die Gesamtanlage des vorliegenden Werkes ausführlich geschildert worden ist, genügt es im wesentlichen, festzustellen, daß auch der nunmehr vorliegende zweite und zugleich Schlußband das Urteil in vollem Umfange bestätigt, welches der Leser bereits vom ersten Bande gewonnen hat, nämlich, daß es sich hier um ein Lehrbuch handelt, das außer hochgesteckten didaktischen auch ernsteste wissenschaftliche Ziele nicht nur anstrebt, sondern auch allenthalben erreicht. Dem theoretisch gerichteten und geschulten Ingenieur, für den das Werk seinem Untertitel gemäß in erster Linie bestimmt ist, wird auch beim zweiten Bande aufs angenehmste auffallen, daß das Streben nach hoher



mathematischer Eleganz die Verfasser doch nie dazu verführt hat, die Probleme, die sie behandeln, nach dem Grade ihrer mathematischen Zugänglichkeit zu bewerten. Demgemäß räumen sie häufig auch da, wo es strenge Lösungen gibt, doch absichtlich (daneben oder manchmal sogar mit Recht im Vorzug vor jenen) den Näherungslösungen den gebührenden Raum ein, überall mit umsichtiger und vorsichtiger Kritik klarlegend, was und wieviel die technische Praxis von der Theorie hier erwarten und verlangen darf.

Diese harmonische Verbindung von streng exakter Behandlungsweise mit richtigem Verständnis für die Bedürfnisse der Technik ist ohne Zweifel die beste und überzeugendste Methode für die Erledigung der Fragen, welche die Festigkeitslehre an die Elastizitätstheorie zu stellen hat. Das vorliegende Werk sammelt diese Fragen und ihre Lösungen, soweit als sie typisch sind, mit jeder für den Ingenieur wünschenswerten Vollständigkeit, die neueste Literatur bis 1919 berücksichtigend und, wie sich das bei einer so vorzüglichen zusammenfassenden Darstellung von selbst ergeben muß, eine große Fülle eigener Forschungen einstreuernd.

Jedenfalls findet das Werk seinen Weg aber weit über die Kreise der eigentlichen Ingenieure hinaus, insbesondere zu allen denen, die sich für die Entwicklungen interessieren, welche die technische Festigkeitslehre seit den Tagen Naviers neben der klassischen Elastizitätstheorie hergehend genommen hat, eine Entwicklung, die sich gerade in der neuesten Zeit sehr reich entfaltet. So wird auch der auf dem Gebiete selbst mitarbeitende Forscher das Föppl'sche Werk als eine zuverlässige Schilderung des gegenwärtigen Standes unserer festigkeitstheoretischen Erkenntnisse um so lebhafter begrüßen, als es zugleich seiner ganzen Darstellungsweise nach ein Programm der Aufgaben bedeutet, die noch zu behandeln wären.

Der zweite Band erledigt zunächst die dünnwandigen Schalen einschließlich der Kuppeln, gibt sodann eine ausgezeichnete Abhandlung der Torsion und faßt in dem Abschnitt über Umdrehungskörper Fälle wie den umschnürten Zylinder, den Schrumpfring u. a. zusammen. Dann folgt ein durch die vorangegangene Lösung des Boussinesq'schen Problems gut vorbereiteter, zuerst die experimentellen Grundlagen klarstellender und dann mit verhältnismäßig einfachem theoretischem Rüstzeug arbeitender Abschnitt über die Härte. Weiter werden noch behandelt die Temperatur- und sonstigen Eigenspannungen, ferner die Knickung von Stäben und Platten (hier liegt wieder ein didaktischer Höhepunkt) und zuletzt die Kipperscheinungen. Das Buch schließt mit der Reproduktion einiger neuerer Untersuchungen über Stabilitätsfragen verschiedener Art, die eng mit den Begriffen der Knickung und Kippung zusammenhängen.

Es mag nur noch darauf hingewiesen werden, daß das Werk sich durchweg auf die zeitlich konstanten Spannungszustände beschränkt — und man hat, wenn man beide Bände zu Ende gelesen hat, das Empfinden, daß das Gebäude der statischen Festigkeitslehre heute im wesentlichen wahrscheinlich fertig ist, vorbehaltlich der Durchrechnung zahlloser Sonderaufgaben, an denen noch auf lange hinaus keinerlei Mangel sein wird. Was uns dagegen bis heute noch zum großen Teile fehlt, sind die Methoden zum systematischen Aufbau einer kinetischen Festigkeitslehre, d. h. einer Theorie der zeitlich veränderlichen Spannungszustände. Abgesehen von den elastischen Schwingungen und der Fortpflanzung elastischer Stöße harren hier viele rätselhafte, aber praktisch äußerst wichtige Probleme

noch immer der theoretischen Behandlung. Eine Fortsetzung der Föppl'schen Bücher in diesem Sinne wäre ein sehr verdienstvolles Unternehmen.

R. Grammel, Stuttgart.

Ebert, H., *Anleitung zum Glasblasen*. Leipzig, Joh. Ambr. Barth, 1921. XII, 110 S. und 73 Figuren. Preis geh. M. 22,50; geb. M. 28,—.

In einer Zeit, in der wissenschaftliche Studien durch ungeheure Kosten fast zur Unmöglichkeit gemacht sind, ist eine solche Anleitung zum Glasblasen besonders wertvoll. Diese Neuauflage, die von Dr. F. Hauser (Erlangen) bearbeitet wurde, ist den heutigen Bedürfnissen angepaßt worden.

Der Wert des vorliegenden Buches liegt zum Teil darin, daß der Verfasser es ausgezeichnet verstanden hat, die kleinen Hemmungen, die sich dem Anfänger entgegenstellen, aufzuspüren und zu beseitigen. Diese Kenntnis scheint ihm aus praktischer Instruktion heraus geworden zu sein. Gerade in den Anfängen und bei den elementarsten Handlungen beweist er eine überraschende Vertrautheit mit den Fehlern des Anfängers. Die hier beobachtete Ausführlichkeit ist anzuerkennen, und es ist nur zu bedauern, daß im weiteren Verlaufe, d. h. beim Übergang zu komplizierteren Gebilden, diese Details mehr in den Hintergrund treten. So zerfällt das Buch mehr oder weniger ungewollt in zwei ungleiche Teile, deren erster eine wirkliche Anleitung zur Herstellung einfacher Gebilde enthält, deren zweiter sich jedoch mehr und mehr auf die Formen und Anwendungsweisen der im Handel erhältlichen Apparate beschränkt. Das ist in gewissem Sinne bedauerlich, da gerade der fortgeschrittene Dilettant im Aufbau dieser komplizierteren Geräte ernsthafte Schwierigkeiten antrifft, die ihm durch das Buch nicht beseitigt werden. Dagegen läßt der Verfasser auch im zweiten Teil soviel brauchbare Winke einfließen, daß der Leser, wenn auch nicht für die Herstellung, so doch für die Bedienung dieser Geräte manches Wichtige entnehmen kann. Wenn somit das Buch seinen Zweck im wesentlichen erfüllen dürfte, so muß uns gestattet sein, auf eine Anzahl von Punkten hinzuweisen, mit denen wir uns nach Rücksprache mit gelerntem Glasbläsern nicht völlig einverstanden erklären möchten.

Wenn der Verfasser zum Beispiel das Biegen weiter Glasrohre durch eine Sandfüllung ermöglichen will, so scheint uns dieses Mittel für wissenschaftliche Zwecke keineswegs empfehlenswert zu sein, da das Festbacken einzelner Sandkörner am Glase wohl auch vom Geübtesten nicht verhindert werden kann.

So ist weiter die Herstellung von Dewargefäßen als so einfach dargestellt, daß dem Anfänger wahrscheinlich schwere Enttäuschungen blühen dürften, wenn er nach diesem Verfahren vorgehe. Daß man nämlich die Kühlung des verschmolzenen Glases unbedingt in einem Asbestkühler vorzunehmen hat, ist überhaupt nicht erwähnt. Ebenso genügt eine Trocknung im Trockenschrank absolut nicht, vielmehr ist ein starkes, lang andauerndes Erhitzen beim Evakuieren ganz unerlässlich, andernfalls die Güte des erhaltenen Produkts sehr viel zu wünschen übrig ließe.

Ferner ist das Einschleifen in der beschriebenen Weise nicht ratsam, da es erfahrungsgemäß immer zu Undichtigkeiten führt. Gerade im Gegenteil soll man den Stopfen nicht immer in derselben Richtung, sondern vorwärts und rückwärts drehen; wenigstens stammt diese Erfahrung aus einer der präzisesten Glasbläsereien Berlins.

So könnten noch mehr Anstände erhoben werden,

zum Beispiel über das Einschmelzen der Platindrähte, die Verwendung von Bleiglas und ähnliches.

Zu all dem möchten wir aber betonen, daß es sich bei den gerügten Mängeln lediglich um Einzelheiten handelt, die das Werk in seiner Gesamtheit kaum herabsetzen. Wenn wir für eine Neuauflage noch einige Vorschläge geben sollen, so sind es folgende:

Der Wissenschaftler — auf ihn ist das Buch wohl in erster Linie gemünzt — wird häufig vor Fragen gestellt, wie er Glas an Glas, oder Glas an andere Materialien zu befestigen hat. Es gibt hier eine ganze Anzahl von Möglichkeiten, deren Kenntnis manche Enttäuschung vermeiden kann. Weiter das Einschmelzen von Silber- oder Kupferdrähten in Glas (nach neueren Verfahren); eine Rezeptsammlung für drucksichere oder säurefeste oder luftdichte Kitt; Mittel, um unebene Glaswände für optische Zwecke durchsichtig zu machen, etwa durch Aufsetzen von wassergefüllten Stützen, die durch Planscheiben abgedeckt sind; die verschiedenen Arten des Versilberns oder des Verplatinierens, etwa mit Glanzplatinlösung; des elektrolitischen Verkupferns und ähnliches mehr. Ferner gibt es sehr interessante Lösungen der Aufgabe, innerhalb abgeschlossener Glasgefäße Bewegungen eingeschlossener Teile vorzunehmen, z. B. durch Verwendung von Schliffen und Zahnstangen oder durch elektromagnetische Übertragung.

Diese und ähnliche Fragen sind es, die dem Wissenschaftler auf Schritt und Tritt begegnen und deren Überwindung er kennen muß, auch wenn er den Apparat nicht selber herzustellen gedenkt, sondern lediglich die Zeichnung dazu liefert; und gerade in dieser Arbeit soll ihm eine Anleitung zum Glasblasen unterstützen.

K. Bennewitz, Berlin.

**Mosler, H., Einführung in die moderne drahtlose Telegraphie und ihre praktische Verwendung.** Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, 1920. VIII, 240 S. und 218 Abbildungen. Preis geh. M. 24,— + Teuerzuschlag.

Der Verfasser hat in vorliegendem Buch eine recht vollkommene Übersicht über die in der modernen drahtlosen Telegraphie benutzten Methoden des Sendens und Empfangens sowie über die Formen der augenblicklich verwendeten Apparate gegeben. Aus dem Inhaltsverzeichnis ist zu erwähnen, daß zunächst die Entladungsvorgänge in Kondensatorkreisen, der Begriff der Abstimmung, Kopplung erläutert wird, wonach die verschiedenen Formen der Luftleiter die Erdung bzw. das Gegengewicht behandelt werden. Darauf sind zwei größere Abschnitte den Sendern und Empfängern sowie deren Schaltungen gewidmet. Ein besonders dem Verfasser vertrautes Gebiet, die Ausbreitung der elektrischen Wellen, ist ausführlicher behandelt. Ferner finden sich Abschnitte über gerichtete drahtlose Telegraphie, wichtige Instrumente der Hochfrequenzmeßtechnik, Einrichtungen der Radiostationen sowie über den praktischen Betrieb. Da das Buch aus den Erfahrungen des Verfassers besonders aus den Kriegzeiten viel Geeignetes aufzuweisen hat, ist es für jeden, der sich in der drahtlosen Telegraphie orientieren will, durchaus empfehlenswert. Vom heutigen Standpunkt der Radiotechnik aus könnten die Beschreibung der gedämpften Sender und die Vorgänge bei ihnen kürzer behandelt werden, während die Technik der ungedämpften Schwingungen, besonders die Verwendung der Röhrensender und Empfänger sowie die drahtlose Telephonie eine breitere Behandlung verdient hätten. Dieses wäre bei einer Neuauflage des Buches zu berücksichtigen. Das Kapitel über den praktischen Betrieb

ist durch den Verkehr der Militärstationen beeinflusst und würde bei einer Neuauflage den modernen Verhältnissen anzupassen sein. Wünschenswert wären darin auch Angaben über internationale Verkehrszeichen und Verkehrscodegruppen. Wie der Verfasser im Vorwort erwähnt, sind infolge des Krieges die Apparateentwicklungen in den Ententestaaten bei dem Material seines Buches nicht mit verwendet worden. Da gerade in der amerikanischen Entwicklung der Röhrentechnik sehr viel geleistet worden ist, wäre eine Vervollständigung in dieser Hinsicht für eine spätere Auflage ebenfalls am Platze. Durch die sehr übersichtliche Darstellung der modernen Sendemethoden, der modernen Empfänger, des Schnellempfangs und der gerichteten Empfangsmethoden wird das Buch auch bei geschulteren Lesern eine willkommene Aufnahme finden.

G. Leithäuser, Berlin.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Mach und die Atomistik.

In einem Vortrag, in dem H. Thirring die Methoden der theoretischen Physik mit klaren und kräftigen Strichen skizziert, führt er Mach als Gegner der Atomistik an<sup>1</sup>). Das kann einem weit verbreiteten Mißverständnis neue Nahrung geben. Darum ein kurzer Nachweis, daß Mach keineswegs so schlechthin und ohne Einschränkung als Gegner aller atomistischen Untersuchungen angesehen werden darf. Er bekämpfte aufs entschiedenste und mit vollem Recht — mit dem großen Recht einer zweihundertjährigen Kritik und Tradition, die mit Leibniz und Berkeley anhebt und die er am Ausgang des Knabenalters bei Kant kennen lernte — die transzendenten Atome. Das sind die, die Du Bois-Reymond, der jene Entwicklung nicht durchlebt hatte, zu seinem resignierten und verzweifelten Ignorabimus trieben, und die, wenn die Naturwissenschaft an ihnen festhält, den Dualismus zwischen Körper und Geist unüberwindbar machen, damit aber auch der Platonischen Degradation von Naturwissenschaft und Technik immer wieder Vorschub leisten.

Mach hat aber nie die Verwendung der Atome für die Darstellung und die Neuauffindung von tatsächlichen Zusammenhängen bekämpft. Von ihm selbst stammt das Wort, daß die Atomtheorie ein „mathematisches Modell zur Darstellung der Tatsachen“ ist<sup>2</sup>). Über die Verwendung solcher und anderer Modelle dachte er völlig frei. Sie waren ihm alle recht, wenn sie zum Ziele neuer Erkenntnis führten. Wegen solches freien Schaltens mit den Mitteln hielt er Maxwells Methode der Naturforschung fast für eine ideale<sup>3</sup>). Und er rühmt geradezu die kinetische Gastheorie wegen ihrer Erfolge und ihrer Anschaulichkeit<sup>4</sup>). Wer die Stelle in „Erkenntnis und Irrtum“ (S. 104), die wohl besonders Anstoß erregt hat, sorgfältig liest und ihren Zusammenhang wohl beachtet, wird auch hier die Unbefangenheit, Weite und Tiefe der Betrachtung anerkennen und sie im vollen Einklang mit der wohlwogenen Stellung ihres Verfassers finden. Sie ist trotz des Wortes vom „achtunggebietenden Hexensabbat“ der zahllosen Atomtheorien nicht deren rationalistische Verurteilung, sondern eine wohlverstandene historisch-psychologische Erklärung und Entschuldigung, ja Verteidigung ihres Auftretens.

<sup>1</sup>) „Die Naturwissenschaften“ 9, 1921, S. 1026.

<sup>2</sup>) Mechanik, IV. Kap., § 4, Ziffer 9.

<sup>3</sup>) Erkenntnis und Irrtum, S. 227.

<sup>4</sup>) Wärmelehre, S. 362.



Für *Mach* ist die Atomtheorie eine *indirekte* und „provisorische“ Beschreibung der Tatsachen. Das Ideal ist ihm aber die *direkte* Beschreibung, wie sie ihm die Thermodynamik zeigt und die Einsteinsche Relativitätstheorie gezeigt haben würde, wenn er sie noch hinreichend kennen gelernt hätte. Doch wäre es kein Widerspruch zu seinem Gedankenkreis, wenn es sich im Laufe der weiteren Entwicklung als unmöglich herausstellen sollte, die betreffenden elektrodynamischen und chemischen Vorgänge *unmittelbar* darzustellen. Ja, die Anerkennung von Atomen als hypothetischer empirischer Realitäten läge durchaus in der Konsequenz seiner Anschauungen, wenn sie nur als Elemente der *Natur*, nicht der *Welt* vorausgesetzt und in diese Elemente der *Welt* — nach seiner Bezeichnung auch „Empfindungen“ — auflösbar angenommen würden. Nur die absoluten, transzendenten Atome, wie die *Du Bois-Reymonds*, sind eine erkenntnistheoretische Unmöglichkeit, relative, immanente, phänomenologische Atome nicht.

Berlin-Spandau, den 22. Januar 1922.

J. Petzoldt.

#### Bemerkung hierzu.

Die vorstehenden interessanten Ausführungen Herrn *Petzolds* zeigen, daß *Mach* als objektiver und sachlicher Forscher bestrebt war, auch der Atomistik Gerechtigkeit widerfahren zu lassen. Andererseits hat er aber, wie im Vorwort seines letzten Buches<sup>1)</sup> ausdrücklich betont wird, „die atomistische Glaubenslehre der heutigen Schule oder Kirche für seine Person abgelehnt“. Auch das von Herrn *Petzoldt* herangezogene Kapitel aus der „Wärmelehre“ enthält nach einigen anerkennenden Worten über die kinetische Gastheorie schließlich doch eine Ablehnung der wichtigsten Leistung *Boltzmanns*: „Die mechanische Auffassung des zweiten Hauptsatzes durch Unterscheidung der *geordneten* und *ungeordneten* Bewegungen, durch Parallelisierung der Entropievermehrung mit der Zunahme der *ungeordneten* Bewegungen auf Kosten der *geordneten*, erscheint als eine recht *künstliche*. Bedenkt man, daß ein wirkliches Analogon der *Entropievermehrung* in einem rein mechanischen System aus absolut elastischen Atomen nicht existiert, so kann man sich kaum des Gedankens erwehren, daß eine Durchbrechung des zweiten Hauptsatzes — auch ohne Hilfe von Dämonen — möglich sein müßte, wenn ein solches mechanisches System die *wirkliche* Grundlage der Wärmevergänge wäre. Ich stimme hier *F. Wald* vollkommen bei, wenn er sagt: „Meines Erachtens liegen die Wurzeln dieses (Entropie-) Satzes viel tiefer, und wenn es gelang, Molekularhypothese und Entropiesatz in Einklang zu bringen, so ist dies ein Glück für die Hypothese, aber nicht für den Entropiesatz.“

Ich glaube also, daß die Stellungnahme *Machs* zur Atomistik mit dem Ausdrucke Gegnerschaft schon richtig charakterisiert ist, wobei man aber natürlich diesem Worte nicht die Bedeutung einer hitzköpfigen, unsachlichen Feindschaft beilegen darf.

Wien, den 27. Januar 1922.

Hans Thirring.

## Deutsche Geologische Gesellschaft zu Berlin.

In der Sitzung der Deutschen Geologischen Gesellschaft vom 1. Februar 1922 sprach Herr *Stappenbeck* über *südamerikanische Minerallagerstätten*. Der Vortragende gab einen kurzen Überblick über die Vorkommen von Kohle und Erdöl, vielfach auf Grund eigener Forschungen an Ort und Stelle. Kohlenlager treten an vielen Stellen und in den verschiedensten Formationen auf, wovon jedoch nur wenige größere wirtschaftliche Bedeutung haben. Aus dem Karbon sind nur wenige unbedeutende Vorkommen bekannt, so z. B. bei Bogota und am Titicacasee. Wichtiger sind die Kohlen der Gondwanaformation Südbrasilien und Argentinien, die permisches und triadisches Alter haben. Hauptfundstellen sind die Provinzen Parana und Rio Grande do Sul sowie die angrenzenden Gebiete von Paraguay, Uruguay und Argentinien. Es werden in den tieferen permischen Stufen Flöze von wechselnder Mächtigkeit (1 bis 2,5 m) beobachtet, welche eine schlechte Kohle mit bis zu 10 % Asche und 12 % Schwefel liefern. Oft sind die Lagerungsverhältnisse stark gestört oder die Lage der Vorkommen ist ungünstig. Kohlen des Lias werden in der chilenischen Küstenkordillere abgebaut. Die wichtigste Formation für die Kohlenversorgung Südamerikas ist die untere Kreide, deren Kohlen im Alter denen unseres Wealden entsprechen. Die Kohlen sind autochthon; sie treten besonders in einem 800 km langen Streifen in Nord- und Mittelperu in 5 Flözen von 1 bis 6 m Mächtigkeit auf, vielfach als Anthrazit. Die Lagerungsverhältnisse sind stark gestört. Für einzelne Gebiete liegen Vorratsberechnungen vor, die Zahlen von 500, 180, 840 und 780 Millionen Tonnen ergeben; von dem Vorrat des größten Gebietes sollen 200 Millionen Tonnen Kokskohlen sein, welche günstig zu reichen Kupfer- und magmatischen Eisenerzlagerungen liegen. Der Gehalt an C beträgt 68—77 %, an Asche 5—15 %, an flüchtigen Bestandteilen 16—23 %, der Schwefelgehalt bleibt unter 2 %, der Heizwert erreicht 7800 Kal. Ein Kohlenvorkommen der Oberen Kreide wird bei Quito abgebaut. Dem Oligocän gehören 0,6 bis 6 m mächtige Flöze an, die in Columbien im gefalteten Gebirge z. T. als Anthrazit, in Venezuela als Braunkohle auftreten. Zum Miocän sind die Braunkohlen Südchiles (bis 8 Flöze) zu stellen, die bei Arauco abgebaut werden. Welche Bedeutung den z. T. als sehr reich angesehenen Vorkommen des Pliocäns in Peru und den quartären Ligniten bei Valparaiso zukommt, muß die Zukunft lehren.

*Erdöl*. Die wichtigsten und aussichtsreichsten Erdöl führenden Schichten gehören der Unteren Gondwanaformation an. So haben Ölschiefer in Ostbrasilien bis 450 l Öl in der Tonne ergeben. Die Vorkommen liegen in Rio Grande, Parana und Sao Paulo und erstrecken sich wohl auch nach dem großen Waldland des Gran Chaco. Ein weiterer primär ölführender Horizont ist das Thiton. Hier sind im Gebiet von Mendoza Bohrungen niedergebracht, die bis jetzt geringe Mengen eines guten Erdöls ergaben.

W. D.

## Kraftübertragung mit Höchstspannungen.

Die Übertragung elektrischer Energie auf große Entfernungen von der Erzeugerstation zu den Versorgungsgebieten sowie der Belastungsausgleich zwischen verschiedenen Großkraftwerken verwendet jetzt Span-

<sup>1)</sup> Die Prinzipien der physikalischen Optik, Leipzig 1921. Hier bekennt sich *Mach* übrigens auch als Gegner der Relativitätstheorie, was darum interessant ist, weil gerade die allgemeine Relativitätstheorie aus Ideen entspringt, die mit jenen *Machs* auf das innigste verknüpft sind.

nungen, die bei 110 000 V bereits als normal bezeichnet werden können. Als augenfälliges Beispiel der Betriebssicherheit hat man Freileitungen mit dieser Spannung quer durch die belebten Straßen der Stadt Berlin geführt. Die Edison-Gesellschaft unterhält in Kalifornien zur Übertragung von 120 000 kW Leitungen mit 150 000 V und plante bereits Mitte vorigen Jahres die Erhöhung der Betriebsspannung auf 220 000 V für den endgültigen Ausbau der Kraftstufen des Big Creek und des Pit River auf 800 000 kW. Über den Aufbau der von Clinton Jones in der General Electric Company gebauten Drehstromtransformatorgruppen mit der Übersetzung 11 000/220 000 V und 25 000 kVA bei 50 Perioden liegen Veröffentlichungen vor. Projekte zur Kraftübertragung von Westnorwegen über Schweden nach Dänemark mit Spannungen bis zu 250 000 V werden zurzeit diskutiert.

Spannungen von der Größenordnung einer Viertel-million Volt liegen also bereits im Bereich der praktisch technischen Beherrschung für die Zwecke der Kraftübertragung. Spannungen dieser zurzeit betriebsmäßig oberen Grenze und weit darüber hinaus bieten hinsichtlich der Erzeugung grundsätzlich keine unüberwindlichen Schwierigkeiten, zumal die erwähnten Spannungen nicht einphasig, sondern als verkettete Drehstromspannungen gelten; so daß bei geerdeter Neutrale nur die Phasenspannung vom  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  fachen Wert für die Isolierung gegen Erde zu berücksichtigen ist, d. h. zu einer verketteten Drehstromspannung von 220 000 V gehört eine Phasenspannung von 127 000 V, für welche die Einphasentransformatoren einer Drehstromgruppe zu isolieren sind.

In den Prüffeldern der Fabriken für Hochspannungsmaterial (Transformatoren, Schalter, Kabel, Porzellan) werden Spannungen bis zu 500 000 V bei Niederfrequenz bis zu 60 Perioden/Sekunde verwendet, wobei die Windungsmittel wiederum geerdet wird. Prüfanlagen mit hochfrequenten Strömen von der Größenordnung einer Million Volt sind in Arbeit. In diesen letzterwähnten Fällen handelt es sich jedoch stets um die örtlich begrenzte Verwendung innerhalb der Laboratorien, wo die Frage der Wirtschaftlichkeit hinter dem rein physikalischen bzw. technischen Zweck zurücktritt und die Leistungen relativ gering sind (bis zu 300 kVA).

Für die betriebsmäßige Anwendung so hoher Spannung zu Zwecken der Kraftübertragung liegen die Grenzen in der Beherrschung der Transformierung, Schaltung und Isolation sowie der Ladeströme der Leitung und deren übererregender Rückwirkung auf die Zentrale. Auch ist zu berücksichtigen, daß das technische Höchstspannungsmaterial zur Abnahmeprüfung Einrichtungen erfordert, welche die 2- bis  $2\frac{1}{2}$ fache Prüfspannung gegenüber der Betriebsspannung erzeugen können und selbst hierfür isoliert sein müssen. Das Problem der Isolierung liegt weniger in der Wahl des isolierenden Materials als in der Formgebung der hochspannungsführenden Teile, von deren Krümmungsradien an der Oberfläche die Beanspruchung des umgebenden Isoliermaterials durch das elektrische Feld abhängig ist. Die Überschreitung der kritischen Beanspruchung führt bekanntlich bei festen und flüssigen Materialien zum Durchschlag, bei gasförmigen Isolatoren, z. B. der die Leiter umgebenden Luft, vorerst zur Ionisierung des Mediums, wodurch dieses unter Glimmen der benachbarten Hülle (Korona) leitend wird und Energie ausstrahlt. Diese Verluste, welche sehr erheblich wer-

den können, sind außer vom Krümmungsradius des Leiters und seiner Oberflächenbeschaffenheit noch vom Abstand der Leiter, Frequenz, Temperatur und Druck stark abhängig. Um einen Maßstab für die gebräuchliche Höchstspannung zu geben, sei erwähnt, daß nach Messungen der 50 km langen Leitung Lauchhammer—Gröditz—Riesa von 110 000 V bei 0° 0,9 kW/km Verluste gemessen wurden, ferner am Goldenbergwerk 1 kW/km, was relativ gering ist.

Um diese Verhältnisse bei der betriebsmäßigen Verwendung von höheren Spannungen zu klären, hat die General Electric Company großzügige Versuche mit Spannungen bis zu 1,1 Millionen Volt bei 60 Perioden ausgeführt. Die ersten Angaben über diese von K. K. Chesney und F. W. Peek ausgeführten Prüfungen finden sich in *Electrical World* vom 17. September 1921. Zweck der Versuche war, zu prüfen, ob die für die gebräuchlichen Spannungen bis zu 250 kV gültigen Gesetze der Koronaverluste und des Überschlages auch darüber hinaus gültig sind und die theoretischen Grundlagen durch die Praxis zu kontrollieren. Die Versuche erstrecken sich auf die Aufnahme der charakteristischen Kurven einer Nadelfunkstrecke im Vergleich zu einer Kugelfunkstrecke von 75 cm Durchmesser, ferner Überschlagsversuche an Kettenisolatoren bis zu 22 Gliedern und Koronamessungen an röhrenförmigen Leitern bis zu  $3\frac{1}{2}$ ". Einige wertvolle Ergebnisse mit Kurvenbildern und Photographien der charakteristischen Glimmerscheinungen bei verschiedenen Durchmessern und Abständen der Leiter sind in *Electrical World* vom 31. Dezember veröffentlicht und werden im folgenden inhaltlich wiedergegeben:

Die Versuche mit der *Nadelfunkstrecke* zeigen einen geraden stetigen Verlauf der Überschlagspannung in Funktion des Abstandes der Elektroden, und zwar mit einer Steigerung von 9 bis 10 kV pro 1".

Mit einer Kugelfunkstrecke, deren Kugeln einen Durchmesser von 75 cm aufweisen, werden Ergebnisse mit beiderseitig isolierter sowie einseitig geerdeter Kugel aufgeführt. Diese charakteristischen Kurven verlaufen *nicht* geradlinig und biegen bei höheren Werten in der Weise ab, daß für beiderseitig isolierte Kugeln der Überschlag bis 400 000 V mit 16 kV pro cm, bei 900 000 V mit 5 kV pro cm eintritt, d. h. bei höheren Spannungen vermindert sich die dielektrische Festigkeit, selbst wenn die kritische Spannung des betreffenden Krümmungshalbmessers nicht erreicht ist.

Aus den Kurven ergibt sich ferner bei 75 cm Abstand der Elektroden und 60 Perioden ein Überschlag der

- |  |           |
|--|-----------|
| 1. Nadelfunkstrecke bei                  | 280 000 V |
| 2. Kugelfunkstrecke ungeerdet bei        | 900 000 V |
| 3. Kugelfunkstrecke einseit. geerdet bei | 810 000 V |

Für die geprüften *Hängeisolatoren* sind Einheiten verwendet, deren jede bei 75 000 V überschlägt. Für verschiedene Spannungen tritt der Überschlag ein für

|                    |         |
|--------------------|---------|
| 2 Einheiten bei    | 150 kV  |
| 5       "       "  | 300 kV  |
| 10       "       " | 540 kV  |
| 15       "       " | 770 kV  |
| 20       "       " | 1000 kV |

In einer Kette von 22 Gliedern entfallen auf die am stärksten beanspruchte Einheit an der Leitung 20% der Gesamtspannung. Danach müßte die Kette, deren Glieder je 75 kV Überschlagspannung aufweisen, bei 375 kV überschlagen, während sie tatsächlich über 1 Million Volt aushält (Veränderung der Feldverteilung).



Die Maße der Leitung, verrechnet auf die Koronaverluste bei 1 Million Volt, ergeben sich vorerst unter Berücksichtigung der kritischen Spannung für das Einsetzen der Koronaverluste zu einem:

Durchmesser pro Leiter 5" = 12,7 cm,  
Abstand der Leiter 20' = 6,1 m.

Verluste bei trockenem Wetter treten in diesem Falle durch Koronaabildung nicht ein. Erhöht man aber die Spannung nur um 10 %, so betragen die Koronaverluste bei der gleichen Anordnung 325 kW pro engl. Meile entsprechend 180 kW pro Kilometer. Ein geringes Überschreiten der kritischen Spannung ergibt mithin bei einer Übertragungsspannung in der Größenordnung 1 Million ganz außerordentliche Verluste. (Bei einer auf kritische Spannung berechneten Leitung für 220 kV ergeben sich bei 10 % Überschreitung nur 7,2 kW pro Meile = 4 kW pro Kilometer.)

Da bei Regenwetter die kritische Spannung um 20 % herabgesetzt wird, so hat demnach eine Leitung für 1000 kV 1080 kW pro Meile = 600 kW pro Kilometer Koronaverluste, oder eine Leitung von 500 km hätte 300 000 kW Verluste. Um diese Verluste auch bei Regenwetter auf 0 zu bringen, müßte der Durchmesser eines Leiters von 5" auf 6,5", d. h. auf 16,5 cm erhöht werden.

Da sich die Angaben auf Seehöhe beziehen, so werden sich die Verluste noch weiterhin bedeutend erhöhen, wenn die Freileitung über hohe Gebirge zu führen ist.

Der Kapazitätsstrom bei einem Leiterdurchmesser von 6,5" und einem Dreileiternetz mit 20' Phasenabstand bei 1 Million Volt und 60 Perioden beträgt 4,43 Amp. pro Meile entsprechend 7650 kVA pro Meile = 4250 kVA pro Kilometer Blindleistung.

Bezogen auf die Kraftübertragung Golpa—Berlin mit 138 km würden sich bei 1 Million Volt und 60 Perioden 590 000 kVA Blindleistung ergeben. Zur Deckung der Blindleistung allein wären demnach 27 Maschinen der jetzt mit 8 Aggregaten vorhandenen Type von je 22 000 kVA erforderlich.

Diese Verhältnisse treten natürlich nur bei reinem Leerlauf der Leitungen ein. Bei Belastung macht sich die Selbstinduktion der mit großem Abstand verlegten Teilleiter je nach dem Belastungsstrom kompensierend bemerkbar.

Der Hängeisolator für eine derartige Leitung erfordert eine Länge von etwa 20 Fuß = 6 m.

Diese Versuche sind lediglich vom technisch-physikalischen Standpunkt aus interessant und ohne Rücksicht auf wirtschaftliche Überlegungen aufgestellt. Sie zeigen jedenfalls, daß die Kraftübertragung mit Spannungen über den derzeitigen Bereich der normalen Höchstspannungen hinaus nur bei außerordentlich großen Energien wirtschaftlich werden kann und denen zugleich auf die Grenzen der Technik hin. Dr. Lu.

## Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

Zur Wünschelrutenfrage<sup>1)</sup>. Durch die Entdeckung der unsichtbaren Strahlen durch *Lenard* und *Röntgen* wiederbelebt und scheinbar gestützt

<sup>1)</sup> Zur Wünschelrutenfrage. I. Die mit Rutengängern im Dezember 1920 angestellten Versuche der Preuß. Geol. Landesanstalt. Mit 5 Textfiguren. Herausgegeben von der Pr. Geol. Landesanstalt Berlin 1921 und in deren Vertrieb (Berlin N 4, Invalidenstr. 44). Preis 3 Mark.

trat die Wünschelrute und das mit ihr verbundene Problem in ein neues Entwicklungsstadium ein. Sie entfaltete sich schnell auf breiter Linie, bereitwillig von den Wellen einer mystisch-übersinnlichen Zeitrachtung aufgenommen und getragen. Anspruchsvoll und Anerkennung heischend trat sie den Naturwissenschaften gegenüber. Wie ein roter Faden zieht sich durch die seit der Wiedererweckung der Wünschelrute üppig ins Kraut geschossene einschlägige Literatur ein Kampf gegen die Berechtigung des wissenschaftlichen kritischen Zweifels, jenes Grundsatzes, dem die neuere Naturforschung so große Erfolge verdankt. Die zurückhaltende, z. T. ablehnende Haltung, die die Wissenschaft dieser Frage gegenüber einnahm, wuchs in dem Maße, als die Überspanntheit in den Behauptungen über die Leistungsfähigkeit dieses „Fühlhebels“ und das Wesen und die Ursachen der ihm zugrunde liegenden Kräfte immer abenteuerlicher wurden.

Mit Hilfe der vielfach auf Sensation gestellten Tageszeitungen setzte eine Propaganda über einzelne hier und da gemeldete scheinbar glänzende Erfolge ein, deren Richtigkeit nicht immer nachzuprüfen war, deren kritische Untersuchung in der Regel unterblieb. Von den zahlreichen Mißerfolgen war aber immer nur ganz ausnahmsweise einmal etwas zu lesen.

Abseits von der großen Öffentlichkeit der Zeitungs- und Welt unternehmen jedoch Physiker, Physiologen, Mediziner, Psychologen und Geologen kritische Untersuchungen der verschiedenen Seiten dieses Problems. Während die andern Wissenszweige sich mehr mit der theoretischen Grundlage des Phänomens beschäftigten, ohne bisher eine einwandfreie, wissenschaftliche Erklärung für diesen Proteus finden zu können, trat für die geologische Seite des Problems die praktische Frage in den Vordergrund: Zeigt die Rute wirklich durch ihre Ausschläge unterirdische Bodenschätze an und ist sie dann etwa praktisch verwendbar?

Diese Erwägungen veranlaßten die Preußische Geologische Landesanstalt, zusammen mit dem Verbands zur Klärung der Wünschelrutenfrage eine Anzahl von Versuchen anzustellen, deren genauere Schilderung die oben genannte Schrift enthält. Eine eingehende Vorbereitung der Versuche sorgte dafür, daß alle Vorsichtsmaßregeln getroffen wurden, um bewußte und unbewußte, mittelbare und unmittelbare Beeinflussung auszuschalten. Die teilnehmenden Rutengänger waren bis zum Beginn der Versuche über die Gegenden, die hierfür ausgesucht waren, ununterrichtet. Aber auch die als Beobachter und Protokollführer mitwirkenden Geologen waren bis auf den Leiter der Versuche, den Verfasser dieses Aufsatzes, auch nahezu unvorbereitet in ein ihnen noch nicht durch Augenschein bekanntes Gebiet geführt. Auch für die Rutengänger waren die Gebiete fremd. Die Auswahl der verschiedenen, über die Provinzen Sachsen und Hannover verteilten Versuchsfelder erstreckte sich auf möglichst einfach gebaute und durch Tagesaufschlüsse, flache und tiefe Bohrungen sowie durch Bergwerksarbeiten möglichst eingehend bekannte Gebiete. Sie boten auch eine möglichste Verschiedenheit der einzelnen Aufgaben, so daß auf Kohle, Salze, Wasser und Verwerfungen im Laufe der verschiedenen Tage gewechselt wurde. Zugleich boten auch die Versuche in ihrer Anordnung eine allmähliche Steigerung der Schwierigkeiten.

Am 1. Tage lautete die Aufgabe auf Feststellung des Grundwassers. Die Ansage (1 Rutengänger) zahlreicher mitten im undurchlässigen Septarientone ent-

haltener „Wasseradern“ stand im völligen Widerspruch zu geologischen Befunde.

Die Aufgabe des 2. Tages, auf Steinsalz, Kalisalz und Braunkohle fand ebenfalls (2 Rutengänger) keine mit dem geologischen Aufbau übereinstimmende Lösung. Es zeigte sich aber hier schon die eigentümliche sich täglich wiederholende, in der Karte Bänder- oder Streifenform ergebende Art der Rutenausschläge. Darüber später noch mehr.

Auch die Aufgabe des 3. Tages (3 Rutengänger), die der Auffindung von Kalisalzen, artesischem Wasser und der großen Abbruchzone des „Magdeburger Uferlandes“ bei Bleiche-Samswegen galt, endete gleichfalls mit einem auch in sich widerspruchsvollen Mißerfolge.

Am 4. Tage (3 Rutengänger) wurde eine andere Art der Aufgabenstellung gewählt. Während darin bisher auf tatsächlich vorhandene Stoffe hingewiesen wurde, suchte man jetzt festzustellen, ob und inwieweit nur in der Aufgabe enthaltene Meinungen über das etwaige Vorkommen nutzbarer unterirdischer Stoffe auf den Rutengänger von Einfluß sind. Das Ergebnis rechtfertigte die Befürchtungen nach dieser Richtung. Alle drei Rutengänger sagten sowohl Salz wie Braunkohle mit der Rute an, obwohl beide im Untergrunde nicht vorhanden sind, auch nach dem geologischen Baue (es handelt sich um Porphyrit- bzw. Oulm- bzw. Marintertiär-Untergrund) nicht vorhanden sein können. Im übrigen standen diese 3 Angaben hinsichtlich der räumlichen Verteilung der angesagten Bodenschätze in vollem Widerstreite miteinander.

Auch die Aufgabe des letzten Tages, den Salzhorst von Winsen a. Aller abzugrenzen, ergab (bei 3 Rutengängern) weder ein untereinander noch mit den tatsächlichen Befunden übereinstimmendes Bild.

Mögen vielleicht einige Wegstrecken länger gewesen sein als es für die nicht gleich zu übersehende Leistungsfähigkeit des einzelnen erwünscht war, so war von geologischer Seite alles geschehen, um in durchaus sachlicher<sup>1)</sup> Weise und in möglichst verschieden gestalteten Aufgaben zu einer Klärung der Frage zu kommen. Jedenfalls muß auch von der Gegenseite zugegeben werden, daß diese Versuche nicht zugunsten der Wünschelrute zu buchen sind und daß sie die angenommenen Beziehungen zwischen den Stoffen in der Erde und den Rutenausschlägen nicht einmal wahrscheinlich gemacht haben. Auf ein anderes, bei den Versuchen herausspringendes Ergebnis, das vielleicht auf eine in ganz anderer Richtung liegende Lösung der Frage hinweist, mag hier noch aufmerksam gemacht werden. Es sind dies die eigentümlichen, schon oben erwähnten Ausschlagsstreifen und Ausschlagslücken, wie sie sich immer wieder bei den Routenaufnahmen ergaben. Da sie teils in ziemlich rhythmischer Folge, dann aber auch wieder unregelmäßig abwechselnd über demselben Untergrundgesteine auftreten, so kann es dieses unmöglich sein, das die Ausschläge der Rute bewirkt.

P. G. Krause.

**Über die Kernstruktur der Atome.** (Bakervorlesung von Ernest Rutherford.) Es ist mit Freuden zu begrüßen, daß Rutherford die Resultate seiner grundlegenden Arbeiten über Atomzertrümmerung und ihre Fortführung in der Bakervorlesung zusammengefaßt hat. Um dem deutschen Leser

die Lektüre dieser Arbeit zu erleichtern, hat Fräulein Dr. Else Norst eine vorzügliche autorisierte Übersetzung im Verlage von S. Hirzel 1921 veranstaltet. In der Einleitung werden kurz die physikalischen Gründe skizziert, welche Rutherford veranlaßten, das Atom aus einem Kern als Zentralkörper mit umgebenden Elektronen als Planeten aufzubauen. Die grundlegenden Überlegungen von van den Broek und Moseley gestatteten über den Kern, der der eigentliche Träger der Atommasse ist, die außerordentlich wichtige Feststellung, daß die Ladung des Kernes gleich der Ordnungszahl des betreffenden Elementes im periodischen System ist. Die Experimente von Geiger und Marsden hatten gezeigt, daß die Dimensionen des Kernes außerordentlich klein sein mußten. Außer den radioaktiven Erscheinungen, deren Ursprung in den Kern der Atome hineinverlegt werden mußte, war über den Aufbau der Kerne vor den Untersuchungen von Rutherford weiter nichts bekannt, während durch die Arbeiten von Bohr und seinen Nachfolgern über die Anordnung der äußeren Elektronen wertvolle Aufschlüsse erbracht waren.

Rutherford hat nun durch seine letzten Arbeiten neue und sehr fruchtbare Wege zur Erforschung der Kernstruktur erschlossen. Die ersten Arbeiten von ihm auf diesem Gebiet beschäftigten sich eingehend mit dem Zusammentreffen von hochgeschwindigen  $\alpha$ -Strahlen mit leichten Atomen (Wasserstoff). „Das Resultat des Zusammenstoßes mit raschen  $\alpha$ -Teilchen ist die Erzeugung von H-Atomen, welche einen engen Geschwindigkeitsbereich haben, und die beinahe in der Richtung der stoßenden Teilchen weiterfliegen. Daraus wurde geschlossen, daß das Gesetz vom reziproken Quadrat nicht mehr gilt, wenn die Kerne sich innerhalb einer Entfernung von  $3 \times 10^{-13}$  cm einander nähern. Das ist ein Zeichen dafür, daß die Kerne Dimensionen dieser Größenordnung haben, und daß die Kräfte zwischen den Kernen sehr rasch in Größe und Richtung sich ändern bei einer Größe der Annäherung, die vergleichbar ist mit dem Durchmesser des Elektrons, wie er gewöhnlich gerechnet wird. Es wurde gezeigt, daß bei solch innigem Zusammentreffen enorme Kräfte zwischen den Kernen auftreten und vermutlich die Struktur der Kerne während des Zusammentreffens sehr deformiert wird. Die Tatsache, daß der Heliumkern, von dem vorausgesetzt sein möge, daß er aus vier H-Atomen und zwei Elektronen bestehe, den Zusammenstoß zu überleben scheint, ist ein Zeichen, daß er von sehr stabilem Bau sein muß.“ Ein Bombardement von reinem Stickstoff mit  $\alpha$ -Strahlen ergab weiter das außerordentlich wichtige Resultat, daß hochgeschwinde Wasserstoffatome auftraten, deren einzige Entstehungsquelle das Stickstoffatom selber sein mußte. Wir haben hier zum erstenmal eine willkürlich eingeleitete Atomzertrümmerung vor uns. Der Nachweis, daß es sich wirklich dabei um Wasserstoff handelte, war außerordentlich mühsam, da die Natur der aus dem Stickstoffkern herausgeschlagenen Partikel auf Grund ihrer magnetischen und elektrischen Ablenkbarkeit am Einzelteilchen erschlossen werden mußte.

Bei Sauerstoff und Stickstoff zeigte sich aber bei Beschießung mit  $\alpha$ -Strahlen noch eine andere Strahlenart, die zwar ein kleineres Durchdringungsvermögen wie die eben geschilderten aus dem Stickstoffkern befreiten Wasserstoffstrahlen hatte, aber immerhin ein größeres Durchdringungsvermögen als die primären  $\alpha$ -Strahlen. Rutherford führte nun auch die Analyse dieser Strahlen durch.

<sup>1)</sup> Dies hat auch H. Dr. Aigner, mit dem bei den Versuchen zusammenzuarbeiten ein Vergnügen war, wiederholt mündlich und schriftlich anerkannt und betont.



Ein Vergleich der Reichweite dieser neuen Strahlenart, die in einer gewissen Beziehung zu ihrer Geschwindigkeit steht, und ihrer magnetischen Ablenkbarkeit zeigte, daß die Geschwindigkeit der Teilchen das 1,19fache der Geschwindigkeit des primären  $\alpha$ -Teilchens ist, und daß ihre Masse  $ca. = 3$  ist, die Masse des Wasserstoffatoms gleich 1 gesetzt. Für die Ladung des Teilchens ergab sich der doppelte Wert der Wasserstoffladung als wahrscheinlich. Die Energie eines solchen aus den Wasserstoff- oder Sauerstoffatomen ausgeschleuderten Teilchens ergab sich als etwas größer als die des primären  $\alpha$ -Teilchens. Wir haben es hier offenbar mit einer künstlichen Auslösung intraatomistischer Energieabgabe zu tun, die beim radioaktiven Zerfall spontan, ohne daß wir ihren Ablauf irgendwie beeinflussen können, erfolgt. Damit scheint gleichzeitig ein neues Atom gefunden, welches wir als Isotop des Heliums ansehen müssen, da es dieselbe Kernladung wie dieses besitzt. Hinsichtlich seines Atomgewichts füllt es einen Platz der Lücke zwischen Wasserstoff und Helium im periodischen System aus. *Bourget, Fabry und Buisson* hatten schon früher aus spektroskopischen Untersuchungen an Nebelflecken den Schluß gezogen, daß es ein Element, das sogenannte Nebulium, mit der Atommasse rund 3 geben könnte. Es ist aber sehr schwer einzusehen, daß die Nebelfleckmaterie ein Zertrümmerungsprodukt von Sauerstoff und Stickstoff sein würde, ganz abgesehen davon, daß das Spektrum eines Elementes von der Kernladung 2 eine andere Struktur haben müßte wie das beobachtete Spektrum des Nebuliums. Ein Heliumisotop von der Masse 3 hat sich bis jetzt nicht gezeigt.

Nachdem es *Rutherford* gelungen war, die Kerne einiger an sich vollkommen stabiler Elemente künstlich zu zertrümmern, lag es nun nahe, den Aufbau verschiedener Atomkerne aus primären Bausteinen sich an Hand möglichst einfacher Schemata klar zu machen. Die Kerne der leichten Elemente lassen sich aus einfach geladenen Wasserstoffkernen mit der Masse 1, doppelt geladenen Kernen mit der Masse 3 und doppelt geladenen Kernen mit der Masse 4 zusammensetzen. Die Art und Weise eines solchen Aufbaus ist natürlich noch nicht eindeutig wegen der verschiedenen Kombinationsmöglichkeit der Bausteine, auch schon bei einheitlichen Elementen, besonders aber bei solchen Elementen, die als Isotopengemische erscheinen. Die Arbeit stellt Experimente über die Zertrümmerung von anderen Elementen in Aussicht. Es sind bereits *Rutherford* weitere große Erfolge auf diesem Gebiet beschieden gewesen.

H. Rausch von Trautenberg.

**Bemerkung:** In einer Arbeit im Phil. Mag. November 1921, Vol. 42, Nr. 251, S. 809, die mir während der Korrektur zugänglich wurde, wird der Zertrümmerungsprodukte von Sauerstoff und Stickstoff von der Ladung 2 und der Masse 3 weiter keine Erwähnung getan. Im Stickstoff werden Wasserstoffkerne durch die primären  $\alpha$ -Teilchen herausgeschlagen, während Sauerstoff offenbar gar keine Zertrümmerungsprodukte liefert. Also scheint die Natur des in der Baker-Vorlesung angeführten Heliumisotops von der Masse 3 nach der neuesten Forschung wieder zweifelhaft geworden zu sein. Hingegen hat *Rutherford* jetzt mit Sicherheit gefunden, daß es möglich ist, aus den Atomen verschiedener Elemente durch Beschießung mit  $\alpha$ -Teilchen H-Atome herauszuschleudern, die eine größere kinetische Energie besitzen wie die primär auftretenden  $\alpha$ -Teilchen. Wenn dieses Re-

sultat für die hypothetischen Teilchen  $\frac{e}{m} = \frac{2}{3}$  offenbar unsicher ist, so folgt nach dieser neuesten Arbeit z. B. für Aluminium mit Sicherheit, daß die Energie der ausgelösten Teilchen um zirka 40 % größer ist als die der primären  $\alpha$ -Teilchen. Die Zertrümmerung gelang bei Elementen bis zum Phosphor, deren Atomgewicht nicht durch 4 ganzzahlig teilbar ist. — Es wäre wünschenswert, wenn auch fernerhin durch so vorzügliche deutsche Übertragungen wie die vorliegende durch *Fräulein Dr. Else Norst* das deutsche Publikum über die grundlegenden Arbeiten von *Rutherford* auf dem Laufenden erhalten würde.

Göttingen, den 12. November 1921.

**Duralumin** ist eine von *Wilm* entdeckte Legierung, die außer dem Hauptbestandteile, dem Aluminium, noch enthält ca. 0,5 % Magnesium, 3,5—5,5 % Kupfer und 0,5—1,0 % Mangan, und die sich dadurch auszeichnet, daß, wenn man sie „veredelt“ (auf 420—520° erhitzt und dann in Wasser abschreckt), ihre technischen Eigenschaften, vor allen Dingen die Härte und die Zerreißfestigkeit, im Laufe von mehreren Tagen sich wesentlich verbessern gegenüber dem unveredelten Zustand. Die technischen Eigenschaften verbessern sich durch das Veredeln um 50—100 %. Zur Erklärung dieser auffallenden Erscheinung wurde zunächst, im Anschluß an anderweitige metallographische Erfahrungen, angenommen, daß die Veränderung der Eigenschaften durch eine langsam verlaufende heterogene Reaktion in der Legierung, also durch Entstehung oder durch Verschwinden einer neuen Kristallphase, zu erklären wären, sei es durch Überschreitung einer Löslichkeitskurve, sei es durch eine Umwandlung im Kristallzustande. Alle Versuche, einen derartigen Vorgang in Duralumin nachzuweisen, waren jedoch erfolglos, besonders, da es sich herausstellte, daß die Eigenschaften des Duralumins erhalten bleiben, wenn das Kupfer in ihm durch Zink ersetzt wird. Eine Al-Zn-Mg-Legierung (Mn ist nur ein accessorischer Bestandteil, der die technischen Eigenschaften weiter verbessert) von der Zusammensetzung des Duralumins besteht aber bei allen Temperaturen aus homogenen Mischkristallen, innerhalb derer keine Änderungen in den Phasengleichgewichten nachzuweisen sind. Man sah sich deshalb veranlaßt, nach ganz neuartigen Erklärungen zu suchen; als Versuch einer solchen schlug *Fraenkel* die Annahme einer Reaktion innerhalb des homogenen Mischkristalles vor — eines Vorganges, der in der Metallographie ein völliges Novum bedeutete.

Es sei erwähnt, daß zahlreiche Erfahrungen gezeigt haben, daß die Bestandteile des Duralumins, bis auf Al und Mg, durch analoge andere Metalle ersetzt werden können. Die Angaben hierüber waren jedoch oft auffallend schwankend und widersprechend.

*Hanson und Gayler* haben nun ihre Aufmerksamkeit auf die weiteren Bestandteile des Duralumins, nämlich Fe und Si gelenkt, die als Verunreinigungen beinahe stets im technischen Aluminium gefunden werden. Es gelang ihnen zu zeigen, daß Fe keinen größeren Einfluß auf die Veredelung des Duralumins hat, daß eine gleichzeitige Anwesenheit von Si und Mg jedoch im Rahmen der untersuchten Legierungen eine Voraussetzung der Veredelfähigkeit der Legierung ist.

Es wurde nun von ihnen das ternäre System Al-Mg-Si untersucht, und es stellte sich heraus, daß in diesem der Verbindung  $Mg_2Si$  eine besondere Rolle zufällt. Die Löslichkeit dieser Verbindung in den

Al-reichen Mischkristallen, die bei  $580^\circ$  etwa 1,6 % beträgt, sinkt bei  $350^\circ$  auf 0,9 % und bei  $30^\circ$  auf weniger als 0,5 % (ca. 0,3 % Mg). Es ist deshalb anzunehmen, daß in den abgeschreckten Legierungen mit mehr als 0,5 %  $Mg_2Si$  ein Teil dieser Verbindung sich zunächst in übersättigter Lösung befindet, aus der sie sich langsam ausscheidet, oder aber, daß die bereits beim Abschrecken begonnene Abscheidung bei gewöhnlicher Temperatur weiter schreitet. In Fig. 1 sind die Festigkeit und die Härte einiger Legierungen von Al mit  $Mg_2Si$  im unveredelten (langsam gekühlten, untere Kurve) und im veredelten Zustande (bei  $500^\circ$  abgeschreckt nach 7tägiger Lagerungszeit, obere Kurve) dargestellt. Man sieht, daß bei  $Mg_2Si$ -Gehalten unterhalb 0,5 % kein Veredelungseffekt eintritt, daß dieser von 0,5 % bis ca. 1,5 % sehr stark ansteigt und bei höheren  $Mg_2Si$ -Konzentrationen annähernd konstant bleibt. Unterhalb 0,5 % kann sich auch bei gewöhnlicher Temperatur kein  $Mg_2Si$  ausscheiden; deshalb war bei diesen Konzentrationen auch kein Veredelungseffekt zu erwarten. Der Überschuß an  $Mg_2Si$  über ca. 1,5 % ist andererseits auch bei hohen Temperaturen nicht in den Al-Mischkristallen gelöst, sondern liegt als zweite Kristallart vor. Er ist demnach auf die Veredelung ohne Einfluß, wie wir bereits gesehen haben. Von entscheidendem Einfluß ist also gerade nur der Anteil des  $Mg_2Si$ , der bei der Abschrecktempe-

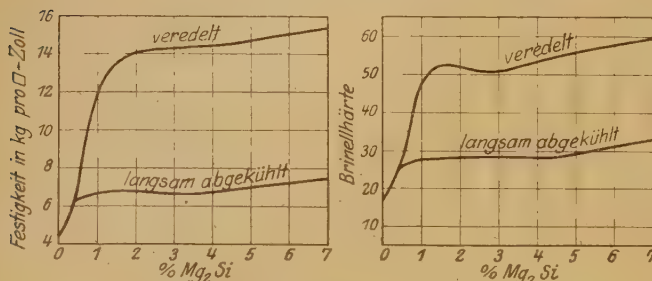


Fig. 1. Festigkeit und Härte einiger Legierungen von Al und  $Mg_2Si$  im unveredelten und im veredelten Zustand.

ratur in Lösung ist, bei der Abkühlung sich jedoch als selbständige Kristallart ausscheiden muß.

Ein Zusammenhang der Veredelung mit der aus dem Zustandsdiagramm zu erwartenden Abscheidung der Verbindung  $Mg_2Si$  (zweifelloos in hochdisperser Form) ist somit experimentell erwiesen. Damit ist die Veredelung aber auf einen Vorgang zurückgeführt, dem in der Metallographie zahlreiche Analogien, wie vor allen Dingen die Härtung des Stahls, bei der ja auch eine Löslichkeitskurve überschritten wird, zur Seite stehen. Damit ist wohl das bisher so schwierige Problem des Duralumins als im Prinzip gelöst zu betrachten. Silicium ist nach Auffassung von Hanson und Gayler immer im Duralumin als Verunreinigung des Al vorhanden gewesen, seine Bedeutung jedoch bisher übersehen worden. Wie man aus Fig. 1 im Zusammenhang mit den eingangs genannten Zahlen für das technische Duralumin ersieht, ist die Höhe des Veredelungseffektes bei den Al- $Mg_2Si$ -Legierungen ebenso groß, wie bei diesem, so daß es in den meisten Fällen möglich erscheint, den Veredelungseffekt hauptsächlich dem anwesenden  $Mg_2Si$  zuzuschreiben. Auch manche einander widersprechende Angaben finden damit ihre Erklärung, indem angenommen werden kann, daß bei den betreffenden Beobachtungen der Si-Gehalt in einer unkontrollierbaren Weise je nach der Qualität des Al geschwankt hat.

Es sei erwähnt, daß alle bisherigen Beobachtungen über die Abhängigkeit der Veredelung des Duralumins von den Bedingungen mit der beschriebenen Annahme von Hanson und Gayler übereinstimmen.

#### Literatur über Duralumin:

Ledebur-Bauer, Die Legierungen in ihrer Anwendung für gewerbliche Zwecke, Verlag von M. Krayn, Berlin 1919.

W. Fraenkel und R. Seng, Studien an vergütbaren Aluminiumlegierungen, Zeitschrift für Metallkunde XII, 225 (1920). Dasselbst weitere Literatur.

W. Fraenkel, Vergütbare Aluminiumlegierungen, Zeitschrift für Metallkunde XII, 427, 1920.

D. Hanson and M. Gayler, The Constitution and Age-hardening of the Alloys of Aluminium with Magnesium and Silicon, Engineering 7/10 1921, S. 519 (Auszug aus einer dem Institute of Metals im September 1921 vorgelegten Arbeit).

Masing.

Ein photochemisches Modell der Retina. (Fritz Weigert, Arch. f. d. ges. Physiol. 190, 177, 1921.) Die Entdeckung des Sehpurpurs und seiner Veränderlichkeit im Licht sowie die Schwankungen der elektrischen Bestandsströme im Auge durch sehr schwache Lichteindrücke haben uns gelehrt, im Sehvorgang einen physikalisch-chemischen Teilprozeß von biologischen Vorgängen zu scheiden, die vor allem durch die Gesetze der Lichtmischung gekennzeichnet sind. Seit deren Erforschung bewegen sich die meisten Untersuchungen zur Aufklärung des Sehvorganges in photochemischer Richtung. Dieser schließt sich auch der Verfasser der vorliegenden Abhandlung an und legt hier dar, daß die charakteristischen Wirkungen des Lichts im Auge sehr weitgehend verglichen werden können mit Veränderungen, welche die Strahlung in unbelebten lichtempfindlichen Systemen hervorruft.

Den Ausgangspunkt für seine Untersuchungen bildete die Entdeckung Ritters und Seebecks, daß Chlorsilber, das sich im Lichte dunkel gefärbt hat, die Eigenschaft besitzt, die Spektralfarben annähernd richtig wiederzugeben. Bei dieser „Farbanpassung“ handelt es sich um das Auftreten wirklicher Körperfarben, deren Träger, die sogenannte Photochloride, Adsorptionsverbindungen von Silber an Chlorsilber in wechselnden Mengenverhältnissen sind. Die spezifische Wirkung der verschiedenen Strahlenarten kann nun erheblich verfeinert werden, wenn man die Photochloride nicht mit natürlichem, sondern linear-polarisiertem Licht erregt. Eine so behandelte Photochloridschicht nimmt aber verschiedene Eigenschaften an, je nachdem man sie mit senkrecht oder horizontal polarisiertem Licht bestrahlt: sie verhält sich also wie ein doppelt brechender Kristall, wird anisotrop und dichroitisch, und ihre optische Achse fällt mit der Schwingungsrichtung des Lichtes bei der Erregung zusammen. Der „physiologischen Farbanpassung“ geht eine „photometrische“ voran, bei der die Adsorptionsänderungen in den verschiedenen Farben zu schwach sind, um dem Auge als Nuancenänderung zu erscheinen, aber genügend ausgeprägt sind für eine Messung mit dem Spektralphotometer. Dabei stellte sich heraus, daß eine verstärkte Durchlässigkeit für die Farbe des Erregungslichtes von einer verstärkten Absorption für die erregungsfremden Farben begleitet ist. Diese als „Absorptionsverschiebung“ bezeichnete Tatsache findet einen zahlenmäßigen Ausdruck in der Aufstellung des Verhältnisses Lichtextinktion vor und nach Erregung mit rotgelbem, grünem oder blauem Licht ( $E = \log \frac{J_0}{J}$ ), das stets kleiner als 1 wird, wenn Erregungs- und Meßfarbe miteinander übereinstimmen. Das entspricht dann einer verstärkten Durchlässigkeit.



Daneben besteht auch eine „*dichrometrische Farbenanpassung*“, d. h. die mit polarisiertem Licht erregten Photochloride zeigen analog dem Verhalten zahlreicher gefärbter Mineralien je nach der Stellung des Beobachtungsniokols verschiedene Farben. Erregt man z. B. die lichtempfindliche Schicht mit senkrecht schwingendem roten Licht, so sieht sie, gegen einen weißen Hintergrund gehalten, in dieser Richtung stärker rot aus als in der dazu senkrechten. Als quantitatives Maß kann für diesen Dichroismus wie bei der Extinktion der Zahlenwert  $\log \frac{J_e}{J_m}$  (Logarithmus der hindurchgelassenen Intensität bei vertikal schwingendem Licht zu der dazu senkrechten Richtung). Der Dichroismus ist in den ersten Stadien der polarisierten Erregung mit einfarbigem Licht immer am *größten* für die *Erregungsfarbe* selbst und kann für die anderen erregungsfremden Farben sogar *negativ* werden. Die quantitative Messung des Dichroismus ist mit großer Exaktheit durchzuführen, und man kann so noch Strahlungseffekte direkt erkennen, die sich sonst nur indirekt durch photographische oder elektrische Methoden feststellen lassen. Hervorzuheben ist, daß die Wirkung auf die rötlich-blauen Photochloride nicht für alle Spektralfarben gleich stark gefunden wird. Sie ist im Blau und Violett sehr schwach, nimmt über Grün und Gelb zum Rot zu und wird nach dem Ultrarot wieder schwächer, ist also auf das *sichtbare Spektralgebiet* beschränkt. Über die feineren Vorgänge bei den verschiedenen Arten von Farbenanpassung lassen sich vorerst keine genaueren Aussagen machen; sie sind aber *nicht* etwa durch *chemische Umwandlungen* bewirkt, da die Menge des vorhandenen Silbers unverändert bleibt.

Die gerichteten Lichtwirkungen beschränken sich nicht allein auf die Photochloride. Auch Kollodiumschichten mit Cyanin- und cyaninähnlichen Farbstoffen, mit substituierten Fluoreszeinen sowie mit Triphenylmethanfarbstoffen zeigen in verschiedenem Grade Dichroismus und Doppelbrechung bei Erregung mit polarisiertem Licht. Ebenso ließ sich eine *physiologische* Farbenanpassung nachweisen, der eine *photometrische* vorangeht. Die dichrometrische Farbenanpassung, die sich in einem Überwiegen des Dichroismus für die Erregungsfarbe ausdrückt, wird um so deutlicher, je verdünnter die Färbung und je kürzer die Erregungszeit mit polarisiertem Licht ist. Es stellt sich hier also eine richtige Abhängigkeit des Strahlungseffektes von der *Konzentration* der Farbstofflösung heraus, die noch weiteren Abstufungen unterliegt, denn es wächst mit zunehmender Verdünnung die dichroitische Lichtempfindlichkeit für das Rot und die langwelligen Strahlen schneller als für Gelb und Grün. Umgekehrt nimmt die Empfindlichkeit für Rot bei zunehmender Farbstoffschicht am stärksten ab. Die Lichtwirkungen verlaufen dann in den Farbstoffschichten so, als ob sich über das eigentliche Absorptionsspektrum des Farbstoffs eine zweite Absorption gelagert hätte, die kein ausgeprägtes Maximum enthält und mit der die spektrale Verteilung der Empfindlichkeit parallel geht.

Weiter wurde für alle Farben, in denen überhaupt eine Veränderung der Schichten stattfand, beobachtet, daß sowohl die Ausbleichung als auch die dichroitischen Effekte bei polarisierter Bestrahlung mit der Dauer der Belichtung ganz außerordentlich viel schwächer wurden, während die absorbierte Lichtmenge nur wenig abnahm. Die Geschwindigkeit des Vorgangs ist also nicht einfach proportional der absorbierten Lichtmenge, sondern auch abhängig von der Vorgeschichte der Systeme.

Diese vom Verf. gefundenen Erscheinungen sind zweifellos von Bedeutung für die Betrachtungsweise aller Vorgänge, die sich bei der Belichtung der Netzhaut abspielen. Es lassen sich eine Reihe von interessanten Analogien entwickeln für den Fall, daß man eine *Farbstoffkollodiumschicht als photochemisches Modell* der Retina ansieht. Zunächst fällt auf, daß sich alle Strahlungseffekte *im sichtbaren Teil* des Spektrums abspielen. Bei der Übertragung der Phänomene auf die Netzhaut, die gewissermaßen zur Aufstellung einer „Anpassungstheorie“ führt, kommt man allerdings nicht ohne die *Annahme* aus, daß die Außenglieder der Zapfen den Sehpurpur in einer solchen Verdünnung enthalten, daß er mit den gewöhnlichen analytischen Hilfsmitteln nicht nachzuweisen ist. In den Stäbchen dagegen ist er bekanntlich in merklichen Mengen vorhanden.

Die Versuche mit den Cyaninschichten haben nun gezeigt, daß die dunkleren Systeme sehr geringe farbenanpassende Eigenschaften haben, daß diese aber um so mehr hervortreten, je verdünnter der Farbstoff ist. So könnte man verstehen, daß die Stäbchen als Farbstoffträger sehr lichtempfindlich sind, aber nicht spezifisch reagieren, während die Zapfen, die kaum merklich gefärbt sind, sich zur Farbaufnahme eignen. Die Lichtempfindlichkeit der Farbstoffschichten ist in den ersten Stadien der Belichtung am größten und nimmt dann sehr schnell und erheblich ab. In Analogie damit müßte die Erregung der Stäbchen durch helles Licht im Anfang sehr groß sein, die Empfindlichkeit aber bald geringer werden. Die dauernde Wiederherstellung des Farbstoffs bedingt, daß er in den Zapfen ständig wohl nur in geringerer Menge aber in frischerem Zustande vorhanden ist als in den Stäbchen. So müssen die Zapfen dann absolut lichtempfindlicher werden und praktisch allein die Lichtperzeption übernehmen, die sich auch spezifisch auf Farben erstreckt. Erst im Dunkeln und in der Dämmerung füllen sich auch die Stäbchen so reichlich wieder mit frischem Farbstoff an, daß sie jetzt durch ihre stärkere Lichtabsorption die Lichtperzeption übernehmen. Bei dem ganzen Vorgang handelt es sich um die Erscheinung der *Adaptation*. — Bei den Farbstoffsystemen nimmt die spezifische Wirkung mit zunehmender Färbung der Schichten am stärksten für das Rot und am schwächsten für die kurzwelligen Strahlen ab. Diese Erscheinung kann beim Auge mit dem *Purkinjeschen Phänomen* verglichen werden, das in der Dämmerung auftritt, wenn die Stäbchen allein arbeiten.

Es zeigt sich also, daß man bei Annahme von Farbstoff auch in den Außengliedern der Zapfen auf photochemischem Wege eine ganze Anzahl von physiologisch-optischen Erscheinungen ableiten kann. Es eröffnen sich aber so auch noch weitere Ausblicke vor allem in bezug auf die Erregung der Nervenendigungen. Die physikalische Untersuchung der Photochlorid- und Farbstoffsysteme hatte zu der Folgerung geführt, daß die *erste* Wirkung des Lichtes nach der Abtrennung von Elektronen in einer *mechanischen Verschiebung* in sehr kleinen unter ultramikroskopischen Komplexen besteht, die für verschiedene Farben ganz spezifisch ist. Überträgt man dieses Ergebnis auf den Sehpurpur, so liegt die Annahme nahe, daß die Nervenendigungen in den Zapfenaußengliedern die mechanischen Veränderungen mit der Vermittlung einer bestimmten Farbenempfindung beantworten. Weiter ist zu bemerken, daß diese mechanischen Effekte an den untersuchten unbelieben lichtempfindlichen Systemen teilweise reversibel sind. Diese Rückverwandlungen werden in einem halbflossigen Substrat noch viel rascher verlaufen als



in den bisher untersuchten einfacheren, festen Versuchsobjekten und könnten von den Nervenendigungen ebenso registriert werden, wie wenn eine Farbe eingewirkt hätte. Auf diesem Wege könnte das Auftreten von Nachbildern geklärt werden, an das sich eine Prüfung der Sehtheorien anschließen müßte.

Emil v. Skramlik.

Aus der Tier- und Pflanzenwelt Brasiliens. In San Ignacio im Territorium Misiones, dem vom Uruguay- und Paranáflusse eingefassten östlichen Zipfel Argentinien, gründete der jetzt in São Paulo in Brasilien wirkende Zoologe Dr. Rudolf Herrmann 1914 eine biologische Station, die einen Begriff von der eigenartigen Pflanzen- und Tierwelt dieses merkwürdigen, in das Gebiet Brasiliens vorspringenden Zwischenstromlandes geben soll. Er begann mit der Gründung eines zoologischen Gartens, dessen Bestand sich in der Hauptsache aus den Fangergebnissen eifrig sammelnder Eingeborener und Ansiedler zusammensetzte und sich nach Jahresfrist insgesamt auf 313 Tiere belief. Unter den 69 Säugern befanden sich Beuterratten, Ameisenbären, Gürteltiere, Tapire, Pekaris, Spießhirsche, Hasen, Feldmäuse, Baumstachler, Pakas, Agutis, wilde Meerschweinchen, Wasserschweine, Nasenbären, Waschbären, Marder, Iltisse, Fischotter, Schakalfüchse, Puma, Jaguarundi, Panther und Tigerkatzen und verschiedene Affen. Dazu kommen 110 Vögel, und zwar Raubvögel, Eulen, Eisvögel, Tukane, Sperlingsvögel, Papageien, Reiher, Wasservögel, Tauben- und Hühnervögel, 86 Reptilien, Leguane, Eidechsen, Schleichen, Ringelegeln, Schlangen und Flußschildkröten, 25 Amphibien und eine Anzahl von Vogelspinnen. Mit diesem Reichtume erlangt die Station für ihr weiteres Gebiet eine ähnliche Bedeutung wie das Museum Goeldi für die Ufer des unteren Amazonas.

Dr. Herrmanns Beobachtungen erstreckten sich u. a. vornehmlich auf die Feststellung der Wurfzeiten und ihre Beziehungen zu der geographischen Lage dieses Grenzgebietes der heißen und der gemäßigten Zone, in dem die feuchten Regenwälder des tropischen Brasiliens und die Pampas Argentinien sich mischen, Palmen und Bambussen mit Weiden und Araukarien sich begegnen, Waldtiere wie Baumläufer und Spechte, Ameisenbären und Baumstachler mit Steppenbewohnern, Straußen, Erdenulen, Hasen und Gürteltieren gemeinschaftlich leben. Es ergab sich, daß die Wurfzeit der Raubtiere in den Sommer fällt, wenn der Reichtum an animalischer Nahrung am größten ist, die des Bandiltisses allein ausgenommen, der, weil er winterschlafende Nager, Reptilien usw. ausgräbt, von dem Nahrungsvorrat der Oberfläche weniger abhängig ist und daher seine Jungen auch im Winter zur Welt bringen kann. Die Affen werfen zur Reifezeit der Früchte, am Ende des Sommers, die Kerbtierfresser zur insektenreichsten Zeit, im Frühjahr, die unter dem milden Klima stets Nahrung findenden pflanzenfressenden Nager und Huftiere zu allen Jahreszeiten. Von der Temperatur beeinflußt erweist sich das Wildschwein, das im Frühjahr wirft, während der fettgepanzerte Tapir und der pelzgeschützte Ameisenbär ihre Jungen auch innerhalb des Winters zur Welt bringen können. Auch die Fruchtbarkeit der einzelnen Arten und die Beschaffenheit ihres Wochenlagers (einfache Lager, hohle Bäume, Erdhöhlen, Dickichte) sucht Dr. Herrmann im Zusammenhange mit Klima und Vegetation gesetzmäßig bedingt zu verstehen.

Seinen in zwei Schriften (*Ein zoologischer Garten am Rande des Urwaldes*, Buenos Aires 1916; *Aus der Kinderstube der Wildtiere*, ebd. 1917) ver-

öffentlichten biologischen Beobachtungen aus Misiones reiht er weitere Bilder aus der Tierwelt Brasiliens an (*Zeitschrift d. deutschen Vereins f. Wissenschaft und Kunst in São Paulo*, 2, 1921). Eine Abhandlung beschäftigt sich mit einer merkwürdigen Tiergestalt der südamerikanischen Urwälder, dem Baumstachler 'Kwii' (*Coendu villosus*), eine andere hat seltene *Geweißbildungen brasilianischer Hirsche* zum Gegenstande, von denen einige den außerordentlichen Fall geheilter Geweihbrüche zeigen, während andere auf Parasiten (Oestridenlarven, Würmer) zurückgeführt werden.

Weitere Forschungen gelten den Lebensgemeinschaften der Termitenhügel auf dem Hochlande von São Paulo. Unter den *Wirbeltieren als Termitengästen* (in der gleichen Zeitschrift 1, 77, 1920) wurden gefunden 8 Arten Schlangen sowie Schlangengelege, 3 Echsen und 6 Froscharten nebst Laich und Kaulquappen. Schlangen und Frösche benutzen die Termitenhäufen ihrer gleichmäßigen Wärme wegen als Brutöfen. Aber auch das Vorhandensein reicher Beute, von Spinnen und Tausendfüßern für Reptilien und Lurche, Frösche für die Schlangen, ganz abgesehen von den Termiten selbst, ist Grund des Eindringens, dem die wehrhaften Wirtstiere merkwürdigerweise keinen genügenden Widerstand entgegensetzen. Bei einem der Termitengäste, einer Wüßschlange (*Atractus reticulatus*) wurde das Ausschlüpfen aus dem Ei beobachtet (ebenda 2, 119, 1921). Es begann mit der Bildung eines 0,5 cm breiten sichelförmigen Risses, durch den die 12,2 cm lange Schlange zuerst in Absätzen, dann allmählich durch Schlängelung und Stemmen gegen die Ränder des Risses innerhalb 25 Minuten unter offenbar großer Anstrengung und wiederholten Atempausen aus schlüpfte. Der jeweils die Eihülle verlassende Körperabschnitt war kurze Zeit völlig durchscheinend, so daß die Herzstätigkeit deutlich beobachtet werden konnte. — Zur Lebensweise des „Lagarto“ (*Tupinambis teguixim*), der bekannten 1 m Länge erreichenden, kräftigen, mutigen und räuberischen Echse teilt H. Luederwaldt (1/2, 47, 1921) Wahrnehmungen mit. Der Lagarto meidet den Urwald wie den offenen Kampf, bevorzugt Gebüsch und lichte Wälder, haust meist in verlassenen Gürteltierröhren oder in natürlichen Höhlungen, die er in der kühlen Jahreszeit und bei regnerischem Wetter nicht verläßt, klettert sehr ungeschickt und scheut, wenn er verfolgt wird, Gewässer keineswegs. Er greift jedes Tier an, das nur einigermaßen bezwingbar erscheint und verspeist die größeren wahrscheinlich erst im Zustande der Fäulnis, wie er auch Aas angeht. Daß seine Eier sich auch auf Früchte erstreckt, ist bekannt. Für die Behauptung, daß er Giftschlangen vertilgt, spricht die Schlangenfremdeit der von Lagartos wimmelnden Alcatrazinsel und der Schlangenreichtum der Insel Queimada, auf der er fehlt. — Einen Beitrag zur Biologie der Vogelspinne (*Carangueira*) bilden die Beobachtungen des P. Stanislaus Schaeffe aus Blumenau (1, 109, 1920). Sie erstrecken sich auf die Nahrungsweise dieses räuberischen Riesen unter den Spinnen, seine Fähigkeit, Nahrungsüberschüsse durch Einspeicheln wochenlang vor Fäulnis zu schützen und aufzuspeichern, auf das Ausschlüpfen der Jungen, ihre Entwicklung, Häutungen usw. Diesen Beobachtungen schließen sich biologische Beiträge zur Schmetterlingsfauna Brasiliens an, die, von J. F. Zikán (1, 145, 1920) in den 14- bis 1500 m hohen Regionen von Minas Gerais gesammelt, sich mit der wenig bekannten Entwicklung der Arten *Napaea nepos* und *Dynastor napoleon* beschäftigen. — Die Farnflora der Umgebung der Stadt São Paulo schildert auf Grund eigener Studien Alexander Curt Brade unter Anfängung einer umfang-



reichen, neue Arten enthaltenden Pteridophytenliste (I, 39, 1920), während *P. Candidus Spannagel die Baumfarne von Santa Catharina*, soweit sie bekannt sind, zusammenstellt und in ihrer Bedeutung für den Menschen (als Hausheilmittel, Schmuck- und Zauspflanze, zur Verarbeitung von Blumentöpfen) beleuchtet.

B. Brandt.

## Astronomische Mitteilungen.

**Neuere astronomische Arbeiten.** Der doppelten Aufgabe der Astronomie: Erforschung des Baues des Weltalls, der Bewegungen der Gestirne einerseits, ihrer sonstigen physikalischen Eigenschaften andererseits — entsprechend teilen sich die Arbeitsmethoden der Sternwarten in astrometrische und astrophysikalische, naturgemäß mit mancherlei Übergängen. Während letztere, vor allem gemäß den Fortschritten der allgemeinen Physik, uns von Jahr zu Jahr oft ungeahnte neue Kenntnisse bringen, reifen die Früchte der Astrometrie bedeutend langsamer, ja es kann bei oberflächlicher Betrachtung der falsche Anschein eines Stillstandes auf diesem Forschungsgebiete entstehen. Sind doch die zur Feststellung gesicherter Bewegungen nötigen Zeiträume — Jahrzehnte, ja Jahrhunderte — überaus oft noch nicht verstrichen seit der ersten exakten Ortsbestimmung der in Frage kommenden Objekte. So kennen wir z. B. die Größe und Richtung der Bewegung unseres Sonnensystems gegenüber unserer engeren Nachbarschaft, den mit freiem Auge sichtbaren Sternen, seit geraumer Zeit schon recht gut, während für die schwachen Sterne das entsprechende Material erst gesammelt werden muß, wozu noch manches Jahrzehnt nötig ist. So wird der Meridiankreisbeobachter, dem die Hauptarbeit auf diesem Gebiete zufällt, sich meist damit begnügen müssen, neue und möglichst genaue Sternpositionen zu ermitteln, während er die Schlußfolgerungen, die sich aus diesen durch den Vergleich mit den Positionen früherer Jahrzehnte ableiten lassen, entsagungsvoll anderen überlassen muß.

Eine der wichtigsten Aufgaben auf diesem Gebiete ist die Festlegung der Fundamentalsterne, ca. 1500 an Zahl, an die alle übrigen differentiell angeschlossen werden. Immer wieder müssen sie von Zeit zu Zeit, etwa alle 10 bis 20 Jahre, mit aller nur erdenklichen Genauigkeit beobachtet werden, damit aus mehreren derartigen Reihen die sogenannten „fundamentalen Sternkataloge“ abgeleitet werden können. Auf diesen „trigonometrischen Punkten“ 1. Ordnung am Himmel beruhen zuletzt alle Ortsbestimmungen der Planeten, Kometen und deren Bahnen sowie der großen Masse der Fixsterne, aber auch die für die Erd- und Landesvermessung, Nautik, Zeitrechnung usw. nötigen geographischen Zeit-, Längen- und Breitenbestimmungen. Die Beobachtung der Fundamentalsterne ist ohne Übertreibung die Grundlage der ganzen Astronomie, sie kann aber kaum zu „sensationellen“ Neuentdeckungen führen. Folgende Sternwarten haben sich vor allem an dieser Aufgabe beteiligt: Greenwich (seit 1700), Königsberg und Pulkowa, besonders im vergangenen Jahrhundert, Berlin, Kiel und neuerdings das Observatorium der amerikanischen Marine in Washington.

Letzteres hat kürzlich die Bearbeitung der Fundamentalsternbeobachtungen von 1903—1911 publiziert<sup>1)</sup>. Der 900 Quartseiten starke Band enthält 49 000 Beobachtungen von 4500 Sternen, an denen 12 Beobachter und eine große Zahl Rechner beteiligt sind. Die Reduktionsarbeiten dauerten von 1903 bis 1917. Der Band wird mit dem im vergangenen Jahre in Green-

wich erschienenen ähnlichen, den neuen Veröffentlichungen der Kapsternwarte und den (noch nicht abgeschlossenen) Berliner usw. Beobachtungen dazu dienen, späterhin, d. h. in 5—10 Jahren, einen neuen Fundamentalkatalog aufzustellen. Zuletzt hatte Boss 1910, wenige Jahre vor ihm Auwers einen solchen veröffentlicht. 1930 werden beide sicher an der Grenze der Brauchbarkeit sein. Denn wenn ihre Positionen etwa für 1900 auch im wesentlichen auf neueren Beobachtungsreihen (um 1890) beruhen, so müssen sie doch auch die Veränderungen dieser infolge der Präzession und Eigenbewegung der Sterne enthalten. Diese können aber nur durch Vergleich mit älteren Reihen, z. B. die von Bradley 1750, Bessel 1830 usw., abgeleitet werden. Sind die alten Beobachtungen fehlerhaft, sei es systematisch, sei es im einzelnen Fall, so werden es die Eigenbewegungen ebenfalls sein, und dann wird auch der beste Fundamentalkatalog nach einer Reihe von Jahren die Sternörter nicht mehr richtig geben und durch einen neuen ersetzt werden müssen.

Ich kann an dieser Stelle natürlich nicht zu den Einzelheiten der neuen amerikanischen Arbeit Stellung nehmen, nur auf ihre Wichtigkeit hinweisen. Eines sei nur als Beispiel des eben Gesagten angeführt: Zur Bestimmung der einen Sternkoordinate, der Rektaszension, gehört zu dem Meridiankreis eine äußerst genau gehende Uhr, mit diesem elektrisch verbunden, im Keller oder sonst thermisch geschützt aufgestellt. Die modernen von Rieffler (München), die auch bei der vorbildlichen Anlage in Washington benutzt wurden, werden kaum eine tägliche Schwankung im Gang, etwa abhängig von den täglichen Temperaturänderungen, haben. Wohl aber ist dies der Fall bei den Beobachtungen vor 100 Jahren bis etwa 1870, wo die Uhr im Beobachtungsraum aufgehängt werden mußte. So kann sich, nebst anderen Ursachen, der periodische Gang von 0,02 sec Amplitude erklären, der in den Differenzen zwischen den neuen Beobachtungen und den bisherigen Fundamentalkatalogen auftritt.

In Deklination, der anderen Koordinate, treten stärkere Abweichungen zwischen Washington und Boss, Auwers usw. auf, die auf fast 1" gehen, um welchen Betrag die neuen Sternörter nördlicher liegen als die Kataloge angeben. Die Erklärung hierfür ist nicht einfach, doch muß ich dafür zuvor auf andere neuere Arbeiten eingehen.

Die schwerst zu beseitigende Fehlerquelle bei astronomischen Deklinations-(Höhen-)Bestimmungen ist der Einfluß der Strahlenbrechung in der Luft. Die vom Weltraum nach der Erdoberfläche zu dichter werdende Atmosphäre ändert den geraden Weg des Lichtstrahls in eine immer stärker nach unten gekrümmte Kurve, so daß die Sterne dem Beobachter gehoben erscheinen (1' in 45° Höhe, 35' am Horizont). Die Größe der Refraktion ist von der Dichte der Luft abhängig, dieser wieder von Druck und Temperatur der einzelnen vom Lichtstrahl durchlaufenen Schichten, naturgemäß am meisten von den in der Nähe des Erdbodens befindlichen dichtesten. Nun sind bis Anfang dieses Jahrhunderts die Meridiankreissäle meist als mehr oder weniger große rechteckige Räume mit 0,5 bis 1,5 m breiten Spalt gebaut worden. Trotz aller Vorsicht ließ es sich da kaum erreichen, daß am Fernrohr (im Saale) und draußen die gleiche Lufttemperatur war. Gewöhnlich war es innen 2° wärmer als außen. Beim Eintritt in den Saal erlitt der Lichtstrahl also eine letzte Brechung beim Übergang in die wärmere Schicht.

<sup>1)</sup> Publik. of the U. S. Naval Observ. Bd. 9, Teil 1.



Zur Berücksichtigung dieser Saalrefraktion gibt es nun zwei Theorien. *Bakhuyzen* und *Helmert* hatten in den 80er Jahren die sogenannte klassische aufgestellt. Der Verlauf der maßgebenden Linien gleicher Luftdichte ist nur abhängig von dem Temperaturunterschied „innen — außen“ und der Begrenzungsform des Gebäudes. 1918 stellte nun Herr *Courvoisier* (Babelsberg)<sup>2)</sup> eine neue Theorie auf. Die bisherigen Beobachtungsreihen von *Helmert*, *Großmann*, *Struwe*, *Hopmann* usw., die als Nebenaufgabe auch die Saalrefraktion behandelten, ergaben als Temperaturabnahme nach außen  $0,1^\circ$  pro m und mehr. *Courvoisier* läßt nun wohl einen derartigen Gradienten in horizontaler Richtung gelten, nicht aber nach der Höhe. Aus thermodynamischen Gründen, Stabilität der Luftmasse, sei höchstens  $0,034$  pro m nach oben zulässig. Berücksichtigt man weiter noch die Abnahme der Luftdichte mit der Höhe, so liegen die Schichten gleicher Dichte nicht mehr horizontal, sondern nach dem Inneren des Saales zu geneigt. Im übrigen seien alle Temperaturmessungen, die zumeist an gewöhnlichen freihängenden Thermometern geschehen, durch Strahlung aus der Umgebung merklich gefälscht, die abgeleiteten Gradienten, besonders in der Vertikalen, nicht richtig. Herr *Kientle* in München, und in anderer Weise auch der Referent, erhoben durch Schriftwechsel mit Herrn *Courvoisier* Einspruch gegen diese Auffassung, um erst nach Klärung der Sache in die Öffentlichkeit zu treten. Neuerdings ist das nun durch Herrn *Kientle* geschehen<sup>3)</sup>.

Der Münchener Meridiansaal ließ das Auftreten von Saalrefraktion erwarten. In ihm wurden an 14 Stellen gewöhnliche Thermometer verteilt (7 in gleicher Höhe mit dem Instrument, innen und außen, 4 2 m über ihm, 3 4 m höher). Ferner wurden 5 Aspirationsthermometer wechselnd neben die anderen gehalten. Aus den zahlreichen Beobachtungen ergab sich folgendes: Beide Arten von Thermometer zeigen recht erhebliche Differenzen; die starken horizontalen und vertikalen Gradienten werden bestätigt; unter dem Einfluß der Sonnenbestrahlung ändern sich über Tag die Isothermen im Saale stark, gegen Sonnenuntergang beginnen sie aber sich mehr und mehr der Gebäudeform anzuschließen. — Aus den Isothermen kann man nun unter Berücksichtigung der normalen Druckabnahme mit der Höhe den gesuchten Verlauf der Schichten gleicher Dichte ableiten. Diese ergeben sich als zwischen der klassischen und der *Courvoisierschen* Theorie liegend. Weiter aber zeigte sich, daß eine sichere rechnerische Berücksichtigung der Saalrefraktion trotz der vielen Thermometer nicht möglich war.

Gleichzeitig mit den Temperaturmessungen hat nun Herr *Kientle* zusammen mit Prof. *Großmann* 30 ausgewählte Fundamentalsterne aller Deklinationen am Münchener Meridiankreise beobachtet. Sie gaben die gleichen Differenzen gegen die Fundamentalkataloge, wie sie oben die Reihe in Washington gezeigt hatte. Die gleichen Sterne wurden aber auch gleichzeitig und gleichartig von *Kopff* in Heidelberg beobachtet<sup>4)</sup>. Hier traten die Differenzen nicht auf, desgleichen auch nicht bei den entsprechenden Untersuchungen *Courvoisiers* um 1900 am selben Heidelberger Instrument und auch bei seinen neuen Berliner Beobachtungen<sup>5)</sup>. Letztere beiden Meridiankreise sind aber einwandfrei

aufgestellt: Die Wände der Beobachtungsräume können soweit entfernt werden, daß Instrument und Beobachter praktisch im Freien stehen, eine Saalrefraktion also nicht auftreten kann, wie dies *Courvoisier* nochmals besonders nachgewiesen hat.

Fundamentale Beobachtungsreihen wird man also, das hat sich durch die Arbeit *Kientles* so erneut und mit größter Schärfe gezeigt, nur in einwandfreien Räumen anstellen dürfen. Das Problem der Saalrefraktion ist durch sie zwar nicht voll entschieden, aber doch sehr geklärt worden.

Andererseits wird man die Deklinationen der neuen amerikanischen Arbeit empirisch an die Fundamentalkataloge anschließen müssen, kann sie also nicht wie die Rektaszensionen ohne weiteres einem neuen Fundamentalsystem zugrunde legen. Denn einmal sind anscheinend nicht die nötigen Temperaturuntersuchungen dort angestellt worden (nur 1 Außenthermometer wurde benutzt); ferner ist der dortige Meridiansaal vom Typus des Münchener.

Arbeiten, wie die hier besprochenen, haben wir zur Sicherung der Grundlagen der Astronomie nötig, so wenig sie auch dem Fernerstehenden Neues zu bringen scheinen. Jeder Vergleich hinkt, aber ungefähr kann man sie doch in Parallele setzen mit der Fehlerkritik, die bei Untersuchungen über das Normalmeter, das Kilogramm usw. zunächst auch viel wissenschaftlich Neues nicht geben mag. *J. Hopmann.*

**Rubidium in der Sonnenatmosphäre.** *Megh Nad Saha* hat in seiner Theorie der Fixsternatmosphären (Naturwissenschaften 9, 863, 1921) die Tatsache, daß Absorptionslinien des Rubidiums auf der Sonne nicht beobachtet worden sind, durch dessen niedrige Ionisierungsspannung gedeutet. Er hat aber die Vermutung ausgesprochen, daß diese Linien im Spektrum der Sonnenflecken zu finden sein müßten, da hier die Ionisation des Rubidiums, der tieferen Temperatur wegen, vermutlich unvollständig sein werde. Dieser Nachweis ist jetzt *H. W. Russell* (Publications of the Astronomical Society of the Pacific 1921) gelungen, welcher die Rb-Linien 7800,29 und 7947,64 im Fleckenspektrum identifizierte. Es sind dies, wie zu erwarten, die Resonanzlinien des Rb, sie entsprechen also den D-Linien des Natriums. Er findet auch die weitere Vorhersage *Sahas* bestätigt, daß die Kaliumlinien in den Flecken sehr verstärkt erscheinen. Von Na erscheinen auch die Linien der diffusen Nebenserie. Dieser Befund entspricht in allen Stücken der Theorie *Sahas* und erklärt sich aus der Verschiedenheit der Ionisierungspotentiale der Alkalien. Die Linien des Li erscheinen im gewöhnlichen Sonnenspektrum gar nicht, im Fleckenspektrum sehr schwach, trotzdem man ihr Auftreten in allen Fällen unbedingt erwarten müßte, wenn Li merklich vorhanden wäre, denn die Ionisierungsspannung des Li ist noch höher als die des Na. Man wird daher wohl annehmen müssen, daß Li in der Sonnenatmosphäre nur in geringem Betrage vorhanden ist. *W. Westphal.*

### Berichtigung.

In meinem Aufsätze: „Über die metasomatischen Prozesse in Silikatgesteinen“, diese Zeitschr. 1922, Heft 7, ist folgender Druckfehler zu berichtigen: Zuerst auf S. 151 soll es in der Formel für die Kon-

zentration des Alkalisilikates natürlich heißen  $\sqrt{\frac{V}{V_0}}$  statt  $\sqrt{\frac{V}{V_0}}$ . *V. M. Goldschmidt, Kristiania.*

<sup>2)</sup> Astronomische Nachrichten Band 207 und 209.

<sup>3)</sup> Astronom. Nachrichten Bd. 213, S. 364.

<sup>4)</sup> Astron. Nachrichten Bd. 213, S. 47.

<sup>5)</sup> Astronom. Nachrichten Bd. 210, S. 337.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von

**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 11. (Seite 241—264)

17. März 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Die Anwendung von Reinkulturen der Mikroorganismen in Industrie und Landwirtschaft. Von *Otto Rahn*, Kiel. S. 241.

Die Bewegung der vier inneren Planeten mit besonderer Berücksichtigung der Bewegung des Merkurperihels (mit 1 Abbildung). Von *Hans Kienle*, München. (Schluß.) S. 246.

### Besprechungen:

Haecker, Valentin, Allgemeine Vererbungslehre. 3. Auflage. Von *H. Nachtsheim*, Berlin. S. 254.

Dacqué, Edgar, Vergleichende biologische Formenkunde der fossilen niederen Tiere. Von *O. Abel*, Wien. S. 255.

Planck, Max, Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung. 4. Auflage. S. 257.

Kohlrausch, Friedrich, Lehrbuch der praktischen Physik. 13. Auflage. S. 257.

Grimsehl, E., Lehrbuch der Physik. 2. Band, 4. Auflage. Von *H. Kallmann*, Berlin-Westend. S. 258.

Grimsehl, E., Lehrbuch der Physik. 1. Band, 5. Auflage. S. 258.

Graphische Papiere und ihre vielseitige Anwendung. Von *H. Erfle*, Jena. S. 258.

Strasburger, E., Das botanische Praktikum. 6. Auflage. Von *H. Kniep*, Würzburg. S. 260.

Strasburger, E., Das kleine Botanische Praktikum. 9. Auflage. Von *H. Kniep*, Würzburg. S. 260.

### Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Wie kommt es, daß die Erde zum überwiegenden Teil aus Eisen besteht? Von *W. Westphal*, Berlin. S. 260.

Die Möglichkeit einer Prüfung des Satzes von der Gleichheit der trägen und der schweren Masse auf astronomischer Grundlage. Von *W. Westphal*, Berlin. S. 261.

Geographische Mitteilungen. S. 261—264.

**Verlag von Julius Springer in Berlin W 9**

Soeben erschien:

**Lünge-Berl**

## Chemisch-technische Untersuchungsmethoden

Unter Mitwirkung von hervorragenden Fachleuten herausgegeben von

**Ing.-Chem. Dr. Ernst Berl**

Professor der Technischen Chemie und Elektrochemie  
an der Technischen Hochschule zu Darmstadt

Erster Band

Siebente, vollständig umgearbeitete und vermehrte Auflage

Mit 291 in den Text gedruckten Figuren  
und einem Bildnis. (XXXII, 1100 S.)

In Ganzleinen gebunden Preis M. 294.— (und Teuerungszuschlag)

**Zweiter Band befindet sich bereits unter der Presse**

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 40,— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 4.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petizeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C  
Postcheck: für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20120 Julius Springer,  
für Anzeigen- u. Beilagenbeträge: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.  
Konten: für alle übrigen Zahlungen: Berlin Nr. 11100 Julius Springer.

Man verlange  
Listen!



### Projektions-Apparate Liesegang

Hochkerziges

## Globoscop

entwirft scharfe, helle Lichtbilder nach jedem Papierbild. An jede elektrische Lichtleitung anzuschließen.

Neue große Lichtbilder-Sammlung  
aus allen Gebieten  
für Lehr- und Vortragszwecke!

**Ed. Liesegang, Düsseldorf**  
Brieffach 124

## Voigt & Hochgesang Göttingen

Fabrik f. Dünnschliffe,  
Kristallpräparate von  
eigenem, sowie von  
geliefertem Material.

(260)

Schul- und Studiensammlungen von ersten  
Fachleuten der Wissenschaft zusammengestellt.  
Kataloge stehen kostenfrei zur Verfügung.

## Mineralien, Kristalle und Gesteine

einzeln und in ganzen Sammlungen.

Spez.: Vogtl. u. sächs. Vorkommen, sowie Graptolithen  
offert preiswert und in reicher Auswahl

**Mineralien-Niederlage A. Jahn**  
Plauen i. V., Oberer Graben 9 (259)

## Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu kaufen gesucht. Angebote unter  
Nw. 236 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

## Die großen Handbücher



von Abderhalden, Abegg, Bredig, Dammer,  
Doelter, Gmelin-Krauth, Hertwig, Kolle-Wasser-  
mann, Lueger, Lunge, Muspratt, Richter,  
Rubner, Ullmann, Winkelmann u. a. **zur Er-  
leichterung der Anschaffung**  
gegen bequeme Monats- oder Quartals-  
raten von (258)

**Hermann Meusser, Buchhandlung**  
Berlin W 57/9, Potsdamer Strasse 75

Große chemische Fabrik sucht einen mit der

## Schädlingsbekämpfung

in der Landwirtschaft und möglichst  
auch im Obst-, Gemüse- und Weinbau

**bestens vertrauten Herrn**

(Pflanzenpathologe oder Entomologe)

zur Leitung ihrer Versuchsstation. Ange-  
bote mit ausführlicher Angabe der bisherigen  
Tätigkeit erbeten unter Nw. 279 an die  
Expedition dieser Zeitschrift. (279)



## Die Anwendung von Reinkulturen der Mikroorganismen in Industrie und Landwirtschaft.

Von Otto Rahn, Kiel.

In einem uns unbekannten Zeitalter fing der Mensch an, zielbewußt Pflanzen anzubauen. Nicht weit von diesen Zeiten muß der Zeitpunkt liegen, wo der Mensch auch Mikroorganismen planmäßig fortzüchtete. Als erste Mikroorganismen des menschlichen Haushalts sind wohl die Sauerteig- und Kumysbakterien, vielleicht auch die Essigmutter anzusehen. Man muß diese Bakterien genau so wie die Getreidearten als Kulturpflanzen betrachten, wenn auch ihre Pflanzenartur den Menschen erst in neuester Zeit klar wurde.

Zu den seit grauer Vorzeit bekannten Getreide- und Obstarten sind nun im Lauf der Jahrhunderte und Jahrtausende neue Kulturpflanzen gekommen, und zwar entweder durch Einführung aus fernen Ländern (Mais, Kartoffeln, Sojabohne) oder durch Hochzüchtung aus einheimischen, wildwachsenden Pflanzen (Rotklee, Möhren, Wicken). Auf dieselbe Weise ist der Kreis der Kulturmikroorganismen vermehrt worden; die Bierhefe, die Bäckerhefe, die Rahmreifungskulturen für die Butterbereitung sind aus wilden Urformen gezüchtet; auch aus fernen Ländern hat man Kulturmikroorganismen eingeführt, so z. B. die *Amylomycespilze* zur Stärkeverzuckerung aus Ostasien, die Joghurtbakterien aus der Türkei. Die zunehmende naturwissenschaftliche Erkenntnis der letzten 50 Jahre hat beiden Gruppen von Kulturpflanzen zu immer erfolgreicherer Züchtung verholfen. Das Studium der Vererbungsgesetze hat die Züchtung ertragreichster Getreide-, Rüben- und Kartoffelsorten außerordentlich gefördert. Bei den Mikroorganismen ist der größte Fortschritt erst durch die Vervollkommnung der bakteriologischen Technik ermöglicht worden.

Man darf bei dem Vergleich zwischen Kulturpflanzen und Kleinlebewesen nicht vergessen, daß die wissenschaftliche Bakteriologie noch keine hundert Jahre alt ist. Wenn auch *Leeuwenhoek* als erster schon 1683 Bakterien sah und beschrieb, so blieben dieselben doch bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts nur animalcula curiosa, seltsame Tierchen, und niemand ahnte ihre Bedeutung für den Kreislauf des Stoffs in der Natur, ihre Notwendigkeit für die Fortdauer alles Lebens auf der Erde, niemand vermutete in ihnen die Ursache aller Fäulnis, Gärung und Säuerung, alles Verwesens und Vermoderns. Um 1840 erst

sprachen die Botaniker *Kützing* und *Schwann* ziemlich klar diese Vermutung aus, und 1857 brachte *Pasteur* den exakten analytischen Beweis dafür, daß die Alkoholgärung ein Lebensvorgang der Hefe sei, der dem Atmen der Tiere entspricht. Bald darauf folgten seine Untersuchungen über die Bakterien der Essiggärung, der Milchsäuregärung und der Fäulnis.

Die neue Erkenntnis brach sich nur langsam Bahn. Nicht nur stieß die biologische Gärungstheorie auf schärfsten Widerspruch bei den Chemikern, namentlich bei *Liebig*, sondern es waren auch erhebliche technische Schwierigkeiten zu überwinden. Man mußte erst mühsam die Hilfsmittel erdenken, um mit diesen kleinsten aller Lebewesen umgehen zu können. So kam erst im Jahre 1881 *Robert Koch* auf den Gedanken, mit Hilfe von schmelzbaren Gelatinenährböden Reinkulturen von Bakterien zu erhalten. So einfach dies Hilfsmittel auch war, so wichtig war es doch, denn die Natur arbeitet nie mit Reinkulturen, und die bisherigen Versuche zur Reinzüchtung aus natürlichen Bakteriengemischen waren höchst mühsam in der Durchführung und unsicher im Erfolg gewesen. 1881 kommen wir also in das Zeitalter der Reinkulturen, und schon im selben Jahre beginnt der dänische Forscher *Hansen* seine Reinzüchtungen von Brauereihefen, welche allmählich die gesamte Brauindustrie der Welt beeinflussten. 1890 begannen *Storch* in Dänemark und *Weigmann* in Kiel ihre Versuche mit der Anwendung von Reinkulturen der Milchsäurebakterien zur Rahmreifung. Auch dieses Verfahren ist mit Erfolg gekrönt worden, und alle großen und mittleren Molkereien Deutschlands bereiten jetzt ihre Butter mit Reinkulturen. Einige Jahre darauf begann *Caron* in Ellenbach seine Versuche mit Reinkulturen von Bodenbakterien. Seine Anstrengungen zur Einführung des *Bacillus Ellenbachensis* sowie auch die Bemühungen der Höchster Farbwerke um die praktische Anwendung von Knöllchenbakterien für Leguminosen blieben aber zunächst ziemlich erfolglos. Den unermüdlichen Forschungen *Hiltners* und anderer Bodenbakteriologen ist es aber schließlich doch gelungen, die Knöllchenbakterien als einen zuverlässig wirkenden Impfstoff herzustellen, der heutzutage jedem Landwirt bekannt ist. Nun folgen in den letzten 20 Jahren die Anwendungen von Reinkulturen in Landwirtschaft und Gewerbe immer schneller. Um eine geordnete Übersicht zu ermöglichen, sollen hier die Industrien nacheinander aufgezählt werden.

Ganz allgemein hat die Anwendung von Reinkulturen bei technischen Gärungen den Zweck,

einen normalen Verlauf der Gärung zu sichern, fremde Bakterienarten zu unterdrücken und auch weniger wirksame Rassen der richtigen Gärungserreger zu verdrängen. Soll der Erfolg sicher sein, so ist es nötig, die natürliche Bakterienflora zu vernichten. Dies geschieht gewöhnlich durch Erhitzen; so wird z. B. die Bierwürze kräftig gekocht, ehe man die Hefe zugibt; der Rahm zur Butterbereitung wird pasteurisiert, ehe man die Rahmreifungskultur hineinmischt. Dagegen kann der Erdboden vor dem Beimpfen mit Knöllchenbakterien nicht keimfrei gemacht werden. Gurken und Kohl kann man vor dem Einsäuern nicht erhitzen. Man hilft sich bei den Gärungen dann dadurch, daß man durch starke Beimpfung mit einem kräftigen Gärungserreger einen schnellen und sicheren Verlauf der Gärung bewirkt.

Die *Alkoholgärungsgewerbe* sind in der Anwendung von Reinkulturen am weitesten fortgeschritten. Hierfür sind drei Punkte maßgebend gewesen. Die Eignung des Brauerei- und Brennereibetriebs zur Großindustrie bringt es von vornherein mit sich, daß mit den modernsten Hilfsmitteln gearbeitet wird. Dann ist die Erhitzung des Brauguts und die Beimpfung mit Hefe von jeher notwendig gewesen, so daß die Einführung von Reinhefen keine Umstellung des Arbeitsverfahrens, sondern nur eine Verbesserung ohne Betriebsumänderung bedeutete. Schließlich ist die Gefahr unreiner Gärungen hier ungewöhnlich groß, da für die in Frage kommenden Flüssigkeiten die Alkoholgärung nicht die natürliche Zersetzungsart ist. Für jeden durch Mikroorganismen angreifbaren Stoff gibt es einen besonderen Typus der Zersetzung, der ihm natürlich ist. Dieser Typus wird in erster Linie von dem Gehalt des Gärmaterials an Säure, Zucker und Stärke bedingt. Fehlen Säure, Zucker und Stärke, so tritt Fäulnis ein. Fehlt Säure bei Gegenwart von Zucker oder Stärke, so tritt Säurebildung ein. Bei Gegenwart von Säure und Zucker ist die Alkoholgärung der normale Zersetzungstypus. Die Bierwürze enthält keine Säure, aber Zucker. Die natürliche Zersetzungsart ist also die Säuerung. Dasselbe gilt für die Kartoffel- und Getreidemaichen der Brennereien. Wenn man in einen Behälter mit ungehopfter Würze oder Kartoffelmaische ein natürliches Bakteriengemisch hineinbringt, z. B. Erde oder Grabenwasser, so wird nicht Alkoholgärung, sondern Säuerung eintreten. Deshalb wird der Bierwürze Hopfen zugesetzt, dessen Öl ein Gift für Milchsäurebakterien ist.

Wohl alle Brauereien benutzen jetzt Reinhefen, die sie entweder selbst züchten oder von besonderen Hefezuchtanstalten kaufen. Da die Hefe sich während der Gärung stark vermehrt und dann wieder absetzt, so gewinnt die Brauerei stets mehr Hefe als sie anstellt. Die Satzhefe wird weiter benutzt, solange sie rein bleibt. Sobald man mikroskopisch oder durch einen un-

gewöhnlichen Verlauf der Gärung Verunreinigung durch fremde Mikroorganismen feststellt, wird sofort von der im Laboratorium aufbewahrten Reinzucht neue Hefe angesetzt.

Die Brennereien müssen die Maische, d. h. den Brei von gedämpften Kartoffeln oder Getreide, erst längere Zeit mit Malz stehen lassen, um die Stärke in Zucker umzuwandeln, ehe die Hefe zugesetzt wird. Dabei setzen unliebsame Gärungen ein, besonders die Buttersäuregärung, welche leicht flüchtige Nebenprodukte liefert. Man bekämpft die Buttersäurebakterien oft durch einen Zusatz von besonderen Mischsäurebakterien (*Bacterium Delbrücki*), welche noch bei den hohen Wärmegraden der Maische gedeihen können. So vermeidet man die den Alkohol verunreinigenden Erzeugnisse der Buttersäurebildner, denn die Milchsäure bleibt beim Abdestillieren des Alkohols in der Maische (Schlempe) zurück.

Als Ersatz für das teure Gerstenmalz hat man aus Ostasien verschiedene *Mucor*- und *Rhizopus*-arten eingeführt; diese Schimmelpilze, die man mit dem Sammelnamen *Amylomyces* bezeichnet, können Stärke verzuckern und auch zu Alkohol und Kohlensäure vergären. Das *Amylomyces*-verfahren hat in Deutschland nicht Fuß fassen können; in Frankreich hatte es Aufnahme gefunden.

Einen neuen Triumph hat die deutsche Wissenschaft im letzten Jahre dadurch errungen, daß es *Hünlich* nach zwölfjährigem Bemühen gelungen ist, aus Rübensaft und Rückständen der Zuckerfabrikation einen deutschen Rum herzustellen, der dem echten Rum mittlerer Qualität sowohl chemisch wie im Geschmack vollkommen gleichzustellen ist (Chemikerztg. 1921, 929). Es handelt sich hier um ein recht verwickeltes Ineinanderarbeiten verschiedener Gärungen, von denen eine hauptsächlich die Aromastoffe, eine andere vorwiegend den Alkohol bildet.

Ganz im Gegensatz zu diesen künstlichen Alkoholgärungen, die nur durch Zusatz von großen Mengen von Hefen eingeleitet werden können, steht die Weingärung als natürliche Gärung. Sie verläuft ohne Hefezusatz. Jeder Weinberg hat eine ihm eigentümliche Heferasse, die durch Insekten von einer Traube zur anderen verbreitet wird. Diese Heferasse ist mitbestimmend für die Bouquetstoffe des Weins, die vorwiegend allerdings von dem Aroma der Trauben herrühren. Reinkulturen werden wenig benutzt; die Weinkellerei ist kein Großbetrieb, ist auch kein fortlaufender Betrieb, denn die Herstellung kann nur einmal im Jahre erfolgen. Eine wirksame Erhitzung des Mostes ohne Beeinträchtigung des Geschmacks ist äußerst schwierig, da der saure Most Metall angreift. Die Hauptsache aber ist doch der Umstand, daß die Weingärung die natürliche Zersetzungsart des Mostes ist, und daß sie fast immer gut gerät. Immerhin hat die Anwendung von Reinkulturen sich unter besonderen Umständen als sehr wichtig erwiesen, wenn nämlich aus irgendeinem Grunde die richtige



Gärung in dem frisch gekelterten Most ausblieb. Dann ist es wichtig, den unliebsamen Mikroorganismen durch schleunige Einleitung der Alkoholgärung die Existenzbedingungen möglichst zu verschlechtern. Die Hefe wird als best angepaßte Lebensform beim Kampf ums Dasein stets obsiegen. — Häufigere Anwendung finden die Reinkulturen bei der Obstweinbereitung; notwendig werden sie dort, wo man den Saft durch Auskochen gewinnt, wie z. B. oft bei Johannisbeeren. Es ist barbarisch, solchen Saft mit Bierhefe oder Preßhefe anzusetzen, da man von den Gärungslaboratorien hochgezüchtete Heferassen für die verschiedenen Obst- und Beerenweine erhalten kann.

Einen ganz anderen Zweck erfüllt die Alkoholgärung in der *Bäckerei*; dort ist die Kohlensäure das Haupterzeugnis, während der Alkoholkeim Backen verdunstet. Zum Lockern von Gebäck eignen sich nicht die Bierhefen, sondern nur die obergärigen Hefen, also Brennereihefen. Es ist üblich, für Backzwecke besondere Hefen zu züchten, die man als technische Reinkultur unter der Bezeichnung *Preßhefe* kennt. Die zugesetzte Hefemenge ist sehr groß, und schon in kürzester Zeit setzt die Gärung ein, ehe andere Gärungserreger sich so weit vermehrt haben, daß sie schädlich wirken könnten. Die hohe Backwärme tötet dann Feind ab, ehe eine Säuerung eintreten kann.

Das Kapitel der Reinhefen darf nicht abgeschlossen werden, ohne der *Nährhefe* zu gedenken, die während des Krieges viel von sich reden machte. Die Reklame damals war m. E. verfrüht, denn wenn die Hefe auch Ammoniak in Eiweiß umwandelt, so braucht sie dazu doch Zucker, und daran mangelte es. Trotzdem glaube ich an die Hefe als ein Volksnahrungsmittel der Zukunft. Sobald es gelingt, aus Zellstoff durch ein billiges Verfahren einen vergärbaren Zucker zu gewinnen oder einen solchen synthetisch herzustellen, sind die Voraussetzungen erfüllt. Unsere jetzige Eiweißherzeugung ist teuer und langsam. Das schnellstwachsende Fleischtier, das Kaninchen, braucht etwa ein halbes Jahr bis zur Schlachtreife, und erhöht in dieser Zeit sein Gewicht etwa auf das Fünfzigfache. Die gleiche Gewichtszunahme erreicht die Hefe in etwa 12 Stunden. An Nährwert übertrifft die Hefe alle anderen Nahrungsmittel, da sie fast ausschließlich aus leicht verdaulichem Eiweiß besteht und außerdem sich durch einen besonders hohen Gehalt an Vitaminen auszeichnet. In den Vereinigten Staaten ist das Hefeessen bereits Mode geworden, die Zeitschriften wimmeln von Hefereklame, so daß kürzlich eine Zeitung sarkastisch bemerkte: „Wenn heute ein Mann Preßhefe kauft, so ist das noch lange kein Beweis dafür, daß seine Frau Brot backen kann.“ Man versucht in Deutschland schon die Abwässer der Zuckerfabriken und Zellstofffabriken zur Hefezucht zu benutzen.

Neben den Alkoholgärungsgewerben mit ihren Riesenbetrieben gibt es noch andere Gärungsgewerbe, die ebenfalls zur Anwendung von Reinkulturen übergegangen sind. Am bedeutendsten ist wohl die *Essigfabrikation*. Man gewinnt Gärungssessig verschiedenster Art, Weinessig, Obstessig, Malzessig, Bieressig, Spritessig usw. durch Oxydation des Alkohols mit Hilfe der Essigbakterien. Das älteste Verfahren zur Essiggewinnung ist das Orleansverfahren, welches für Weinessig und Obstessig auch heute noch angewendet wird. Als Impfmateriale diente früher ein besonders guter Essig oder ein Stück Essigmutter aus einem gut gärenden Fasse. Reinkulturen braucht man auch heutzutage nur dann, wenn ein neues Faß angesetzt wird oder wenn in einem alten Fasse Gärungsstörungen auftreten. Beim Schnellessigverfahren, das im Ausland das deutsche Verfahren genannt wird, ist die Anwendung von Reinkulturen schwieriger, weil die Infektionsgefahr sehr groß ist.

Eine ganz andere Art der Säurebildung lernen wir bei den Gemüsesäuerungen, z. B. Sauerkohl, sauren Gurken, Pickles, Zwiebeln usw., kennen. Die notwendigen Säuerungsbakterien sind auf den Gemüsen zwar stets vorhanden, aber manchmal doch in so geringer Anzahl, daß vor ihrer vollen Entwicklung und kräftigen Säurebildung bereits andere, schneller wachsende Arten unliebsame Zerstörungen einleiten können. Dies vermeidet man am sichersten durch Zusatz von besonders gezüchteten Reinkulturen. Im Notfall hilft man sich durch Zusatz von saurer Milch, Buttermilch oder sauren Molken, welche verwandte Säuerungsrassen enthalten. Auch für Futtersäuerungen, z. B. Rübenblätter, hat man Reinkulturen empfohlen. Beim Einsäuern von Rübenschnitteln, dem Abfall der Zuckerfabriken, haben sie sich sehr gut bewährt. An sich ist für alle Gemüse die Säuerung der natürliche Zersetzungs Vorgang, eine Abtötung aller Keime ist also nicht nötig, es muß nur für schnelle Einleitung der normalen Säuerung Sorge getragen werden. Bei Sauerkraut und Gurken spielen die von den einzelnen Rassen der Säuerungsbakterien erzeugten Aromastoffe eine wichtige Rolle.

Ein anderer Gewerbebezweig, in welchem man die Anwendung von Reinkulturen in Erwägung zieht, ohne bisher schon wesentliche Fortschritte gemacht zu haben, ist die *Gerberei*. Auch bei der *Abwasserbeseitigung* hat man sich mit dem Gedanken getragen. So gibt es noch andere Gewerbe, bei denen die Anwendung von Reinkulturen wohl möglich wäre, ohne bisher nennenswerte praktische Erfolge erzielt zu haben.

Ein eigenartiger Einzelfall ist die technische Herstellung von Zitronensäure aus Zucker durch einen Schimmelpilz, *Citromyces*. Dies Verfahren ist billiger als die Gewinnung aus Zitronen. Man könnte hierher auch die Bekämpfung von Mäusen und Ratten durch krankheitserregende Bakterien

rechnen. Es sind alles nur besondere Fälle der Anwendung von Reinkulturen in *Gewerbe und Landwirtschaft*.

Von den landwirtschaftlichen Nebengewerben in engerem Sinne ist besonders die *Milchwirtschaft* mit der Bakteriologie untrennbar verwachsen. Hier haben die Reinkulturen bereits eine derartig umfangreiche Anwendung gefunden, daß die *Butterbereitung* und die *Weichkäseerei* in größeren Betrieben ohne Reinkulturen nicht mehr denkbar sind. Die häufigste Anwendung finden sie bei der Rahmreifung. Der weitaus überwiegende Teil der Butter in Deutschland wird aus saurem Rahm gewonnen. Die Art der Säuerung des Rahms ist für Geschmack, Beschaffenheit und Haltbarkeit der Butter maßgebend. In einem so vorzüglichen Nährboden entwickeln sich aber neben den Bakterien der normalen Zersetzung, den echten Milchsäurebakterien, auch noch andere Arten von Mikroorganismen, namentlich Coliarten, Fluoreszenten und andere fettzersetzende Stäbchen, verschiedene Kokken und Sarcinen und außerdem *Oidium lactis* und *Cladosporium butyri*, die am Ranzigwerden der Butter den Hauptanteil haben. Um diese Organismen, welche Geschmack und Haltbarkeit beeinträchtigen, zu unterdrücken, genügt der bloße Zusatz von kräftig säuernden Reinkulturen nicht immer; dies Verfahren versagt z. B. bei altem Rahm, in welchem die unerwünschten Pilze schon zu weit entwickelt sind. Deshalb wird jetzt allgemein der Rahm pasteurisiert, d. h. schonend erhitzt, aber doch hoch genug, um von je 1000 Bakterien 999 abzutöten. Dann wird der Rahm schnell gekühlt, um den Kochgeschmack zu vermeiden, und darauf mit einer sorgfältig ausgewählten und erprobten Reinkultur von Milchsäurebakterien beimpft. Bei sachgemäßer Behandlung des Rahms erhält man so eine Butter von stets gleichbleibendem, reinem und feinem Geschmack, guter Beschaffenheit und großer Haltbarkeit. Die Einführung der Rahmerhitzung hat anfangs großen Widerstand gefunden, aber jetzt pasteurisieren nicht nur alle größeren und mittleren, sondern auch viele kleine Molkereien ihren Rahm und säuern ihn mit Reinkulturen an.

Auch in der *Käseerei* hat die Bakteriologie schon viel zur Sicherstellung der Betriebe beigetragen. Die Käse reifen dadurch, daß bestimmte Mikroorganismen den Käsestoff verändern, verdauen, löslich machen und dabei zugleich diejenigen Geschmacksstoffe entwickeln, die wir an den Käsen besonders schätzen. Den einfachsten Typus der Reifung zeigt der Harzkäse. Der zusammengepreßte saure Quark bedeckt sich allmählich mit einer mattweißen Haut von Milchsimmel und Kahlhefe; diese verzehren zuerst die Milchsäure und wirken dann auch auf den Käsestoff, der erst glasig, dann fast ganz löslich wird. Wenn alle Säure an der Oberfläche verschwunden ist, siedeln sich dort gelbe, rote und

braune Bakterien an, welche das Eiweiß noch weiter zersetzen und die bekannte Schmierschicht bilden. Die Harzkäseerei benutzte häufig Reinkulturen zur Erzeugung dieser Schmierschicht. Kulturen von Milchsimmel und Kahlhefe werden nur bei schweren Betriebsstörungen bestellt, da sie in normaler Milch stets vorhanden sind.

Die Reifung der weichen Labkäse ist ebenfalls recht gut bekannt. Die aus süßer Milch hergestellten Käse werden erst stark sauer, dann wird die Säure durch Milchsimmel und andere Schimmelarten zerstört, die auch den Käsestoff zersetzen und zugleich die eigenartig pikanten Geschmacksstoffe bilden. Diese Pilze sind sämtlich reingezüchtet im Handel zu haben. Zur Herstellung von Camembertkäse dient *Penicillium Camemberti* in Gemeinschaft mit *Penicillium album*; für Roquefortkäse benutzt man auf Brot gezüchtete Reinkulturen von *Penicillium Roqueforti*.

Dagegen ist der Reifungsvorgang der Hartkäse noch nicht genügend geklärt. Man weiß wohl, daß Milchsäurebakterien an der Reifung beteiligt sind, und hat durch Zusatz von Reinkulturen verschiedener Rassen gute Reifung erhalten. Aber ein klarer Überblick über alle Reifungsfaktoren der Hartkäse ist noch nicht vorhanden. Die Hauptschwierigkeit liegt darin, daß man nicht mit sterilisierter Milch arbeiten kann, da dieselbe mit Lab kein festes zusammenhängendes Gerinnsel gibt. Vielleicht erreicht man mit den neuen Dauerpasteurisierungsverfahren eine einigermaßen normale Labgerinnung, so daß Käseversuche mit keimarmer Milch möglich wären. Dann stünde eine baldige Klärung dieser Frage in Aussicht. Immerhin hat man gewisse Einzelheiten schon heute herausgefunden. Für Schweizerkäse kann man zur Sicherung der Reifung eine Reinkultur eines bestimmten Milchsäurelangstäbchens zusetzen. Das Bakterium, das die Löcher im Schweizerkäse, die sogenannten Augen, hervorruft, hat man ebenfalls schon reingezüchtet und benutzt es dort, wo ungenügende Lochung den Marktwert des Käses herabsetzt, z. B. in Dänemark.

Wie also z. B. das genaue Studium der Mikroorganismen der Rumgärung und ihrer Lebensbedingungen es schließlich ermöglicht hat, Rum auch in nicht tropischen Ländern aus anderen Rohstoffen herzustellen, so ist auch die Käseerei allmählich von bestimmten Orten und Klimaten unabhängig geworden. Die französischen Weichkäse werden in den verschiedensten Ländern der Erde hergestellt. Man macht Schweizerkäse und Edamer Käse in Deutschland, Limburger Käse in Amerika und Dänemark. Während die gut erforschten Weichkäse dem Erzeugnis des Ursprungsortes vollkommen gleichwertig sind, gibt es bei den Hartkäsen noch kleine Unterschiede, die aber mit fortschreitender Verwendung der Reinkulturen auch noch verschwinden werden.



Die verschiedenen vergorenen Milchgetränke wie Kefir, Kumys, Mazun, Joghurt usw., die vorwiegend von den Völkern des Mittelmeergebiets stammen, können nur durch Anwendung von Reinkulturen in unserm Klima hergestellt werden, da die hierbei tätigen Lebewesen bei uns nicht heimisch sind. Es handelt sich in der Hauptsache um eine saure Gärung durch sehr wärmebedürftige Langstäbchen (Gruppe des *Bact. bulgaricum*). Daneben befindet sich oft eine Hefe, welche Milchzucker zu vergären vermag. Alle in Betracht kommenden Reinkulturen sind Handelsware.

Ganz im Gegensatz zu den Erfolgen der Reinkulturen bei den Nahrungs- und Genußmitteln, bei denen auch die weitere Entwicklung ziemlich klar voraussagen ist, steht die Anwendung der Bakteriologie auf den Ackerboden. Die *Bodenbakteriologie* ist in ihren Anfängen stecken geblieben, das öffentliche Interesse daran scheint erlahmt zu sein, und ihre weitere Entwicklung läßt sich nicht voraussagen. Die ganze Sachlage beim Ackerboden ist eine ganz andere als bei den oben behandelten Nahrungsmitteln. Nur bei starkem Regen ist eine zusammenhängende Flüssigkeitsschicht vorhanden, welche den Bakterien freie Beweglichkeit gestattet. Gewöhnlich sind sie ziemlich fest an Ort und Stelle gebunden; daher ist ihre Verteilung im Boden schwierig. Sodann ist die Masse des Ackerbodens so groß, daß sie nicht sterilisiert werden kann. Man hat allerdings durch Zusatz von flüchtigen Giften (Äther, Chloroform, Schwefelkohlenstoff, Toluol usw.) teilweise Abtötung der Bakterien, etwa dem Pasteurisieren entsprechend, erzielt, man hat in Gewächshäusern mit Erfolg die verbrauchte Erde durch Dampferhitzung wieder gebrauchsfähig gemacht. Aber all diese Maßnahmen sind für feldmäßigen Ackerbau zu teuer, auch ist die Infektion im freien Felde zu groß. Dazu kommt ferner, daß die Lebensbedingungen für jede Bakterienart in jedem Boden andere sind, und daß wir über die Lebensbedingungen für Bakterien in Erde, über das sogenannte Bodenklima, überhaupt noch herzlich wenig wissen. Vor 10 bis 15 Jahren glaubte man noch, die Entwicklung der Bakterien im Boden mit dem Wachstum in Flüssigkeiten ohne weiteres in Parallele setzen zu können. Das hat zu schweren Trugschlüssen geführt. Es fehlt uns also noch viel an den notwendigen Grundlagen der Bodenbakteriologie.

Die Bedeutung der Bakterien im Boden ist äußerst vielseitig; alle Versuche mit Reinkulturen haben sich bisher aber nur um die Stickstoffbindung gedreht. Es gibt im Erdboden Bakterien, welche keine Stickstoffnahrung brauchen, sondern ihren Körper aus dem Stickstoff der Luft aufbauen, wenn ihnen nur Zucker oder eine entsprechende stickstofffreie Nahrung geboten wird. Es liegt nahe, diese Bakterien im Boden zu züchten, um den teuren Stickstoffdünger zu

sparen. Dies ist nun in einem Falle auch gelungen, nämlich bei den Knöllchenbakterien der Leguminosen. Diese Bakterien dringen in die Wurzeln bestimmter Pflanzenarten, vermehren sich dort und versorgen die Pflanze mit Stickstoffverbindungen, die sie aus Luftstickstoff selbst bilden. Diese Bakterien hat man aus den Wurzelknöllchen reingezüchtet, in besonderen Rassen für jede Leguminosenart, und sie werden in der Landwirtschaft viel angewendet. Ganz besonders wichtig ist die Bodenimpfung dort, wo landfremde Leguminosen, z. B. Esparsette, Lupinen, Sojabohnen, zum ersten Male angebaut werden. Unter verschiedenen Handelsnamen sind diese Saatimpfkulturen allen Landwirten bekannt.

Dies ist aber auch der einzige Erfolg der Bakteriologie im Feldebau, und er ist dadurch leicht erklärlich, daß es sich hier nicht um frei im Boden lebende Bakterien handelt. Die Knöllchenbakterien wohnen im Innern der Wurzeln und stehen nicht im Wettbewerb mit den Bodenbakterien. Die frei im Boden wachsenden Azotobakterarten, die ebenfalls Stickstoff binden, hat man bisher noch nicht praktisch verwerten können. In allen Bodenarten, in denen sie überhaupt gedeihen können, sind sie schon in mehr oder weniger großer Anzahl vorhanden. Eine Mehrimpfung hat keinen Zweck, da die Lebensbedingungen des Erdbodens, Nährstoffe, Durchlüftung, Wassergehalt usw., eine Vermehrung nicht zulassen. Was über die Normalzahl hinausgeht, muß eben absterben. Die Beimpfung von solchen Böden, in denen diese Bakterien nicht gedeihen können (z. B. Moorböden), ist ebenfalls zwecklos. Die Schwierigkeiten, über die wir nicht leicht hinwegkommen, sind eben das Bodenklima und der Kampf ums Dasein im Boden.

Man hat neuerdings versucht, Bakterienarten zu finden, welche auch die Nicht-Leguminosen mit Stickstoff versorgen können. Die sogenannten U-Kulturen von *Kühn* haben bei den Prüfungen durch die Landwirtschaftlichen Versuchstationen keine besonderen Erfolge aufweisen können. *Hiltner* in München versucht ebenfalls in Verfolgung von noch nicht veröffentlichten Grundlinien zu solchen Kulturen zu gelangen. Diese Bakterienarten sollen mit den Wurzeln der Kulturpflanzen in Wechselwirkung stehen, ohne in den Wurzeln selbst zu wachsen.

Während also bei den Nahrungsmitteln die Anwendung von Reinkulturen schon fast eine Selbstverständlichkeit geworden ist, stellen sich der Anwendung von Bodenbakterien außerordentliche Schwierigkeiten entgegen, die auch durch eingehendes Studium der Lebensbedingungen im Boden nur teilweise behoben werden könnten. Es wird noch viel Mühe kosten, bis man die Bakterienflora des Ackerbodens auch nur annähernd so in der Gewalt hat wie z. B. die Flora des Rahms bei der Buttergewinnung.

Die Anwendung der Reinkulturen hat keinen Zweck, wenn sie nicht sachgemäß erfolgt. Sie

gibt dann ein unberechtigtes Gefühl der Sicherheit, das die Aufmerksamkeit einschläfert. Wenn der Arzt eine Operation unter den denkbar sorgfältigsten Maßnahmen vollzieht und die helfende Krankenschwester hat vergessen, sich die Hände zu waschen und zu desinfizieren, so kann der Erfolg der Operation schlimmer werden als die Krankheit, die man zu heilen hoffte. Ähnlich ist die Gefahr bei der Anwendung von Reinkulturen; man kann nicht nach einem Rezept arbeiten, man muß die Bakterien und ihre Ansprüche an Nahrung, Luft und Wärme kennen. Nur ein Fachmann kann Reinkulturen mit dauerndem Erfolg benutzen. Es hat sich herausgestellt, daß es nicht schwer ist, solche Fachleute heranzubilden. Die Erfahrungen der Brauerei- und Molkereischulen zeigen übereinstimmend, daß die Bakteriologie eine leicht verständliche Naturwissenschaft ist, die auch ohne höhere Schulbildung gelernt werden kann. Vor Jahren bemühte sich *Lindner* um die Einführung der Bakteriologie in den naturwissenschaftlichen Unterricht der höheren Schulen. Noch wichtiger würde mir die Bakteriologie als Lehrfach im Fortbildungsschulunterricht erscheinen, und zwar als Zwangsfach für alle Angestellten von Nahrungsmittelbetrieben und Nahrungsmittelhandlungen sowie für alle zukünftigen Hausfrauen. Die unaufhaltsam zunehmende Anwendung von Reinkulturen im Wirtschaftsleben erfordert dringend eine Verbreiterung des bakteriologischen Unterrichts.

## Die Bewegung der vier inneren Planeten mit besonderer Berücksichtigung der Bewegung des Merkurperihels.

Von Hans Kienle, München.

(Schluß.)

### Die Massen der Planeten.

In Tabelle 1 (siehe Nr. 10, Seite 218) hatten wir zwei Systeme von Werten für die reziproken Planetenmassen angeführt, die in den Untersuchungen der letzten Jahrzehnte eine Rolle gespielt haben. Wir wiederholen diese hier der besseren Übersicht halber.

Reziproke Planetenmassen  
nach *Newcomb* ( $1/m_N$ ) und *Doolittle* ( $1/m_D$ )

|              | $1/m_N$   | $1/m_D$   |
|--------------|-----------|-----------|
| Merkur.....  | 6 000 000 | 7 500 000 |
| Venus.....   | 408 000   | 408 134   |
| Erde.....    | 329 390   | 327 000   |
| Mars.....    | 3 093 500 | 3 093 500 |
| Jupiter..... | 1 047,35  | 1 047,88  |
| Saturn.....  | 3 501,6   | 3 501,6   |
| Uranus.....  | 22 869    | 22 800    |
| Neptun.....  | 19 314    | 19 700    |

Das unter  $1/m_N$  stehende System ist von *New-*

*comb* als das wahrscheinlichste betrachtet worden und ist vor allem deswegen von Bedeutung, weil es den heute für alle Ephemeriden benutzten Tafeln der Sonne und der Planeten von *Newcomb* und *Hill* zugrunde liegt. Kein Zweifel, daß dieses System noch nicht das endgültige ist, ebensowenig wie das von *Bauschinger* (a. a. O.) abgeleitete, das gerade einige der wichtigeren neueren Bestimmungen nicht berücksichtigt. Wenn wir im folgenden einige Zahlen aufführen und in der Tabelle ein System von Massen zusammenstellen, das wir für das zurzeit wahrscheinlichste halten, so legen wir dabei weniger Gewicht auf die Massenwerte selbst (die darum auch entsprechend abgerundet sind) als vielmehr auf die durch die Zahlen  $\epsilon(v)$  ausgedrückten mittleren Unsicherheiten, mit denen die Werte vermutlich noch behaftet sind.

*Merkur* ist der kleinste, daher auch wirkungsschwächste Planet. Die Angaben über seine Masse schwanken darum am meisten, wie man aus der folgenden kleinen Zusammenstellung der wichtigsten Werte von  $1/m$  erkennen mag.

|                        |   |   |
|------------------------|---|---|
| <i>Leverrier</i> ..... | $1/m = 3,0 \times 10^6$                                   | Tafeln  |
| <i>Newcomb</i> .....   | $\left\{ \begin{matrix} 7,2 \\ 7,9 \end{matrix} \right\}$ | Periodische Störungen<br>(Venus und Erde)       |
| <i>Hill, Doolittle</i> | 7,5   | Theorie   |
| <i>Newcomb</i> .....   | 6,0   | Tafeln  |
| <i>de Sitter</i> ..... | 8,0   | Periodische Störungen<br>(Venus u. Komet Encke) |
| <i>Witt</i> .....      | 8,5   | Periodische Störungen<br>(Eros)                 |
| <i>Bauschinger</i> ... | 6,75  | Mittelwert                                      |

*Venus* bereitet aus den genannten Gründen erhebliche Schwierigkeiten. Folgendes sind die wichtigsten Werte:

|                        |                   |   |
|------------------------|-------------------|---|
| <i>Leverrier</i> ..... | $1/m' = 401\,847$ | Tafeln  |
| <i>Newcomb</i> .....   | 410 000           | Erste Theorie                                       |
| "                      | 406 690           | Periodische Störungen<br>(Merkur u. Erde), Endwert! |
| "                      | 408 000           | Tafeln  |
| <i>Cowell</i> .....    | 399 000           | Greenwicher Sonnenbeobachtungen                     |
| <i>Witt</i> .....      | 407 800           | Periodische Störungen<br>(Eros)                     |
| <i>Bauschinger</i> ... | 406 950           | Mittelwert  |

Der von *Newcomb* angegebene Endwert ist das Mittel aus mehreren, die zwischen 392 000 und 412 000 schwanken.

Wie man sieht, besteht also eine erhebliche Spannweite zwischen den einzelnen Werten und die von *Bauschinger* angegebene Unsicherheit von  $\pm 1010$  ist sicher zu niedrig gegriffen.

*Erde*. Der von *Leverrier* zu  $1/354\,936$  angesetzte Wert für die Summe der Massen von Erde und Mond war von *Newcomb* erheblich vergrößert worden auf  $1/328\,000$ , von *Hill* und *Doolittle* sogar auf  $1/327\,000$ . In *Newcombs*



Tafeln ist dann wieder eine Verkleinerung vorgenommen worden auf  $\frac{1}{1829\ 390}$ . *Bauschinger* zeigt, daß vor allem ein ganz erheblicher Widerspruch auftritt zwischen der aus den planetaren Störungen und der aus den Pendelmessungen abgeleiteten Erdmasse. Während die ersteren als wahrscheinlichsten Wert  $1/m'' = 331\ 846$  ergeben, findet er aus letzteren  $327\ 546$  und schlägt in Ermangelung eines besseren eine Art von Kompromiß vor, der auf  $1/m'' = 330\ 200 \pm 930$  führt. Die Erosstörungen ergeben  $328\ 370$ .

Bei *Mars* deuten neuere Trabantenbeobachtungen auf eine geringe Vergrößerung des von *A. Hall* abgeleiteten und in Tabelle 1 angegebenen Wertes hin. *De Sitter* gibt als heute besten Wert  $1/m'' = 3\ 085\ 000 \pm 5000$  an.

*Jupiter* übt neben der Sonne den weitaus größten Einfluß auf alle Bewegungen im Planetensystem aus. Es ist darum auch von jeher der Bestimmung seiner Masse das größte Augenmerk zugewandt worden und man kann sagen, daß die einzelnen Methoden zu Resultaten von recht befriedigender Übereinstimmung geführt haben, so daß der von *Newcomb* angegebene Mittelwert  $1/m^{\text{IV}} = 1\ 047,355 \pm 0,065$  als kaum einer wesentlichen Änderung bedürftig angesehen werden konnte. Dies bestätigten die seither neu hinzugekommenen Werte von *Cookson* ( $1046,99$  und  $1047,30$ ) aus den Diskussionen der Kapbeobachtungen. *De Sitter* (*Proc. Amsterdam 1908*) erhält als wahrscheinlichstes Ergebnis aller bisherigen Beobachtungen  $1/m^{\text{IV}} = 1047,40 \pm 0,03$ .

Für *Saturn* hatte *Bessel* aus Satellitenbeobachtungen  $1/m^{\text{V}} = 3501,6 \pm 0,78$  abgeleitet, während die aus den achtziger Jahren stammenden Bearbeitungen von *Hall*, *de Ball* und *H. Struve* Werte zwischen  $3481$  und  $3500$  ergaben, mit dem ungefähren Mittel  $3487 \pm 5$ . Trotzdem ist *Bessels* Wert bis heute beibehalten worden, da er namentlich durch *Hill* ( $1898$ ) eine Bestätigung gefunden hat. Aus den Störungen, welche *Saturn* auf *Jupiter* ausübt, fand nämlich *Hill* die reziproke Masse zu  $1/m^{\text{V}} = 3502,2 \pm 0,53$ .

Für die beiden äußersten Planeten sind die Unsicherheiten der Massen wieder etwas größer. Bei *Uranus* liegen die Werte zwischen  $22540$  und  $23383$  und es zeigt sich hier ein Unterschied zwischen dem von *Hall* aus den Satelliten gewonnenen Werte  $1/m^{\text{VI}} = 22\ 682 \pm 27$  und dem von *Hill* aus den Saturnstörungen abgeleiteten  $1/m^{\text{VI}} = 23\ 239 \pm 89$ . Als Wert für die Tafeln der inneren Planeten hat *Newcomb*  $22\ 756$  angenommen, während den Tafeln der äußeren Planeten der von *Hill* adoptierte Wert  $22\ 869$  zugrunde liegt.

Bei *Neptun* sind die Schwankungen in den Zahlen von ähnlichem Betrage, nämlich zwischen  $18\ 279$  und  $19\ 700$ , und hier sind den *Newcomb-Hillschen* Tafeln sogar drei verschiedene Werte zugrunde gelegt:  $1/m^{\text{VII}} = 19\ 540$  bei den inneren Planeten,  $19\ 700$  bei *Jupiter* und *Saturn*,  $19\ 314$  bei *Uranus*.

Schließlich stellen wir in der folgenden Tabelle 5 die von uns als wahrscheinlichste betrachteten Massen (unter den oben angegebenen Gesichtspunkten) zusammen. Es stehen unter  $1/m$  die reziproken Massen, unter  $\varepsilon(1/m)$  deren geschätzte mittlere Unsicherheiten, unter  $v$  die für das System  $1/m_D$  daraus resultierenden Korrekturen, schließlich unter  $\varepsilon(v)$  die den Zahlen  $\varepsilon(1/m)$  entsprechenden Größen  $v$ , die vor allem in Betracht kommen für die Beurteilung der Unsicherheiten, welche durch die möglichen Fehler der Massen in den theoretischen Störungsbeträgen auftreten.

Tabelle 5.

Die wahrscheinlichsten Werte der reziproken Planetenmassen und die Korrekturfaktoren  $v$  der Massen *Doolittles*.

|             | $1/m$     | $\varepsilon(1/m)$   | $v$       | $\varepsilon(v)$ |
|-------------|-----------|----------------------|-----------|------------------|
| Merkur..... | 7 000 000 | $\pm 1,5 \cdot 10^6$ | $+0,071$  | $\pm 0,215$      |
| Venus.....  | 407 000   | $2 \cdot 10^3$       | $+0,0028$ | $0,005$          |
| Erde....    | 329 500   | $1 \cdot 10^3$       | $-0,0076$ | $0,003$          |
| Mars.....   | 3 085 000 | $5 \cdot 10^3$       | $+0,0027$ | $0,0016$         |
| Jupiter.... | 1 047,40  | $0,05$               | $+0,0005$ | $0,00005$        |
| Saturn..... | 3 500     | $2$                  | $+0,0005$ | $0,0006$         |
| Uranus..... | 22 850    | $150$                | $-0,0022$ | $0,0066$         |
| Neptun..... | 19 400    | $200$                | $+0,0155$ | $0,010$          |

Umrechnung der theoretischen Säkularvariationen der Perihellängen auf das neue System von Massen.

Setzt man die Werte für  $v$  in die auf S. 222 angegebenen Formeln ein, so lassen sich die dortigen Säkularvariationen auf das neue System von Massen reduzieren. Die Summe der Korrekturglieder der theoretischen Säkularvariationen beträgt für das Merkurperihel  $+0'',157$ , für das Marsperihel  $-0'',898$ . Bei dem ersteren rührt der Hauptanteil von der Venusmasse her:  $+0'',759$ ; den nächstgrößten Beitrag:  $-0'',689$ , der den Einfluß der Venus beinahe kompensiert, liefert die Erde. Bei Mars ist die Erde mit  $-1'',740$  stärkste Ursache der Änderung; *Jupiter* bewirkt  $+0'',624$ . Da wir unser System noch keineswegs als das endgültige ansehen, vor allem, soweit es die Venus- und die Erdmasse betrifft, so sind natürlich die abgeleiteten Korrekturen noch recht unsicher. Dies drückt sich in den aus den Zahlen  $\varepsilon(v)$  abgeleiteten mittleren Fehlern aus, die sich für Merkur und Mars auf  $\pm 1'',41$  bzw.  $\pm 0'',75$  stellen. Nur der Vollständigkeit halber wurden auch die Säkularvariationen der Perihelie der Erde und der Venus auf die obigen Massen reduziert, während auf eine Umrechnung der anderen Variationen verzichtet wurde, da sie ja für eine Erklärung durch die Relativitätstheorie nicht in Betracht kommen.

Als Ergebnis der Theorie können wir die folgenden korrigierten Werte von  $ed\pi/dt$  ansehen, welche an die Stelle der in Tabelle 2 enthaltenen Zahlen zu setzen wären:

Tabelle 6.

Die endgültigen theoretischen Werte für  $e d \pi / d t$ .

|             | Newcomb    | Doolittle  | $\varepsilon$ |
|-------------|------------|------------|---------------|
| Merkur..... | + 109'',63 | + 108'',94 | $\pm 0'',29$  |
| Venus.....  | 0,37       | 0,36       | 0,17          |
| Erde.....   | 19,27      | 19,27      | 0,05          |
| Mars.....   | 148,71     | 148,66     | 0,07          |

*Grossmanns Kritik der empirischen Säkularvariation der Perihellänge des Merkur.*

Eine Kritik der empirischen Werte *Newcombs* hat *Grossmann* (a. a. O.) gegeben. Sie befaßt sich aber nur bezüglich der Säkularvariation des Merkurperihels eingehender mit den numerischen Ergebnissen der *Newcombschen* Arbeiten, da es sich für sie nur darum handelt, an einem aktuellen Beispiel die Unsicherheit der empirischen Grundlagen der gegenwärtigen Theorie des Planetensystems zu erhärten. Um diese Kritik verständlich zu machen, müssen wir einiges vorausschicken über die Art der *Beobachtungen*, welche zur Ableitung der Elemente des Merkur dienen. Der Ort dieses Planeten kann nach zwei verschiedenen Methoden festgelegt werden:

1. Beobachtung der Vorübergänge des Merkur vor der Sonnenscheibe. Da die Bahn des Merkur gegen die Ekliptik eine ziemliche Neigung besitzt, so tritt der Planet natürlich nicht bei jedem Umlaufe, wenn er zwischen Erde und Sonne hindurchgeht (untere Konjunktion), vor die Sonnenscheibe, sondern geht im allgemeinen ober- oder unterhalb derselben vorbei. Nur wenn sich Merkur und Erde in der Nähe der „Knotenlinie“, d. i. die Schnittlinie ihrer beiderseitigen Bahnebenen, befinden, ereignet sich ein Vorübergang. Dies geschieht durchschnittlich alle 10 Jahre, und zwar entweder im Mai oder im November. Durch Beobachtung des Ein- und Austrittes des dunklen Merkurscheibchens am Sonnenrande läßt sich der relative geozentrische Ort von Merkur und Sonne festlegen. Aber die Bestimmung dieser Kontakte ist sehr unsicher. Die relative Bewegung des Scheibchens gegen die Sonne ist außerordentlich langsam (ein Vorübergang dauert am Sonnenäquator gegen 12 Stunden!), so daß die erste Berührung der äußeren Ränder oft sehr verspätet bemerkt, die Loslösung am inneren Sonnenrande durch physiologische Wirkungen stark beeinflußt wird. Diese Erscheinungen sind bei Gelegenheit der Venusdurchgänge des vorigen Jahrhunderts sehr eingehend studiert worden (siehe die Berichte von *Auwers!*) und zeigen, daß auf solche Weise erhaltene Ortsbestimmungen keineswegs frei von systematischen Fehlern sind.

2. Direkte „absolute“ Ortsbestimmungen des Planeten durch Beobachtungen am Meridiankreise. Wegen ihrer ständigen Sonnennähe können Merkur und Venus nur am Tage beobachtet werden und zählen zu den schwierigsten Objekten. Physiologische Einflüsse wechselnder Art verfälschen die Messungen, da die Planeten durch das Auftreten von Phasen (von der schmalsten Sichel bis zur vollbeleuchteten Scheibe) wechselndes Aussehen zeigen. Hinzu kommen die am Tage meist ungünstigen Luft- und Temperaturverhältnisse, so daß also auch bei diesen Beobachtungen eine Reihe systematischer Fehler sich in den Resultaten geltend machen werden.

Der weitere Gang der Untersuchungen, der hier nur im groben skizziert werden kann, ist nun der folgende. Aus vorliegenden Tafeln (von *Newcomb* wurden die von *Leverrier* benutzt), die mit gewissen Elementen der Planeten gerechnet sind, kennt man die vorausberechneten Örter der Sonne und des Merkur. Mit diesen Örtern werden die Beobachtungen verglichen, die Differenzen festgestellt und aus den Differenzen dann Korrekturen der Elemente abgeleitet. Diese einfachen Worte enthalten aber ein ganz verwickeltes Problem. Denn in die Bedingungsgleichungen gehen ja nicht nur die Korrekturen der Elemente der Sonne (d. h. der Erde) und des Planeten selbst ein, sondern auch noch die Korrekturen der Säkularvariationen. Man kann daher nur durch Näherungen zum Ziele kommen. In welcher Weise und wie weit diese durchzuführen sind, das muß der Einsicht des Bearbeiters überlassen bleiben. Hier setzt die Kritik der Ergebnisse *Newcombs* zuerst ein: er hat von vornherein auf eine Korrektur von vieren der Unbekannten verzichten müssen, um die Auflösung der Gleichungen zu leisten. Und daß er bei der Behandlung von rund 60 000 Meridiankreisbeobachtungen sich mit der Mitteilung eines gedrängten Auszuges begnügt, erschwert den Einblick in die Zuverlässigkeit der Ergebnisse.

*Newcomb* gibt in seiner endgültigen Bearbeitung, die wir hier allein berücksichtigen wollen, zwei Lösungen (A und B) an. In der ersteren benutzt er nur die Meridiankreisbeobachtungen, in der zweiten kombiniert er diese mit den Durchgangsbeobachtungen. Beide ergeben stark abweichende Werte, namentlich für die Säkularvariation des Merkurperihels. Als Korrektur des *Leverrierschen* Wertes findet *Newcomb* hierfür aus Lösung A:  $-9'',540$ , aus B:  $-1'',008$ . Damit werden nun die Sonnenelemente korrigiert und die Örter des Merkur neu gerechnet. Da die Elemente A den Durchgangsbeobachtungen nur schlecht genügen, verwirft *Newcomb* das System A ganz. *Grossmann* kann in den von *Newcomb* hierfür angegebenen Gründen keine genügende Rechtfertigung des Verdammungsurteils finden, das hiermit einer ganzen Kategorie von Beobachtungen gesprochen wird.



Aus den Lösungen für alle vier inneren Planeten leitet *Newcomb* dann definitive Sonnenelemente ab, und durch deren Verwendung ergeben sich schließlich die von ihm als endgültig betrachteten Korrekturen der Elemente und Säkularvariationen *Leverriers*. Werden diese Korrekturen an *Leverriers* Tafelwerte angebracht, dann erhält man die Zahlen, die wir in Tabelle 4 unter „Beob.“ mitgeteilt haben. Beim Merkurperihel — die anderen Zahlen hat *Grossmann* nicht nachgeprüft — ist aber *Newcomb* dabei ein Versehen unterlaufen, zu dessen Verständnis wir ein klein wenig ausholen müssen.

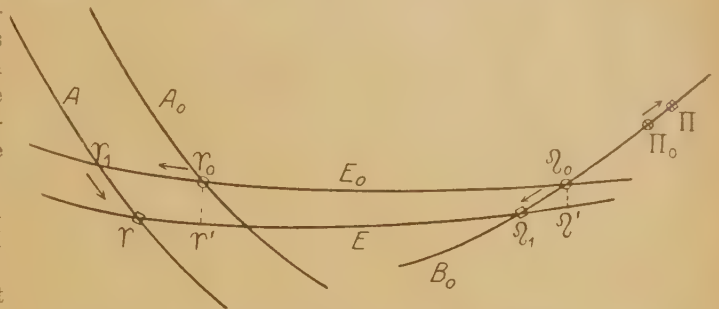
Die Perihellänge  $\pi$  wird, wie wir an Hand der Fig. 1 klar machten, als gebrochener Winkel  $\gamma\Omega + \Omega\Pi$  vom Frühlingspunkt aus gezählt. In ihre Säkularvariation werden also die Bewegungen der drei Punkte  $\Pi$ ,  $\Omega$  und  $\gamma$  eingehen. Das Fortschreiten von  $\Pi$  auf der Bahn des Planeten selbst wird durch die von der Theorie gelieferte Säkularvariation gekennzeichnet. Über die Bewegungen von  $\gamma$  und  $\Omega$  wollen wir durch eine kleine Skizze Aufschluß geben.

Zur Epoche  $t_0$  haben Äquator, Ekliptik und Planetenbahn bezüglich die Lagen  $A_0, E_0, B_0$ , und die Länge des Perihels ist gegeben durch den Winkel  $\pi_0 = \gamma_0\Omega_0 + \Omega_0\Pi_0$ . Das Perihel selbst wandert auf der festen Bahn  $B_0$  nach  $\Pi$ . Der Äquator rückt infolge der Präzessionsbewegung der Erdachse nach  $A$ , der Frühlingspunkt infolgedessen auf der festen Ekliptik nach  $\gamma_1$ . Die Ekliptik selbst aber verändert ihre Lage von  $E_0$  nach  $E$  infolge der Störungen, welche die Planeten auf die Erde ausüben. Dadurch kommt also schließlich der Frühlingspunkt nach  $\gamma$ . Ist  $\gamma'$  der dem Punkte  $\gamma_0$  auf  $E$  entsprechende Punkt, so mißt  $\gamma'\gamma$  den Gesamtbetrag der Verückung des Frühlingspunktes auf der beweglichen Ekliptik. Man nennt dies die „allgemeine Präzession“, die etwas über 50" im Jahre ausmacht. Infolge der Bewegung der Ekliptik rückt aber auch der Knoten von  $\Omega_0$  nach  $\Omega_1$ . Um die Vorstellung nicht zu verwirren, wollen wir von der Veränderung der Bahn selbst, die natürlich auch noch hinzukommt, absehen, da bei deren Berücksichtigung keine Zweifel bestehen. Wir betrachten also die Bahnebene als fest. Die neue Perihellänge wäre dann  $\pi = \gamma\Omega_1 + \Omega_1\Pi$ , und ihre Änderung  $\Delta\pi = \pi - \pi_0$  setzte sich zusammen aus den folgenden Beträgen, deren numerische Werte nach *Leverrier* angegeben sind (Zeiteinheit 100 Jahre):

$$\begin{aligned} \gamma\gamma' &= \text{allgemeine Präzession} \dots\dots\dots = +5023''\cdot57 \\ (\gamma'\Omega_1 + \Omega_1\Omega_0) - \gamma_0\Omega_0 &= \text{Bewegung der} \\ \text{Ekliptik} \dots\dots\dots &+ 2\cdot37 \\ \Pi_0\Pi &= \text{reine Perihelbewegung} \dots\dots\dots + 565\cdot44 \\ \hline (\Delta\pi)_{100} &= +5591''\cdot38 \end{aligned}$$

Aus den oben besprochenen Untersuchungen findet *Newcomb*, daß der von *Leverrier* angegebene Wert der Säkularvariation die Korrektur  $+6''\cdot34$  (das ist der von ihm als endgültig angesehene

Wert) zu erfahren hat. Da *Newcomb* alle Beobachtungen auf die bewegliche Ekliptik bezieht (was auch *Doolittle* noch besonders hervorhebt), so sind in ihnen bereits die beiden ersten oben angeführten Glieder berücksichtigt, die Korrektur wäre also zu  $565''\cdot44$  zu addieren. Statt dessen gibt *Newcomb* als „*Leverriers* Wert“ die um gerade  $2''\cdot37$  größere Zahl  $567''\cdot81$  an und es geht daraus hervor, daß er von dem von *Leverrier* angegebenen Betrag  $5591''\cdot38$  nur die allgemeine Präzession abgezogen, das Glied  $2''\cdot37$  aber übersehen hat. Das ist der Fehler bei *Newcomb*, auf den *Grossmann* hingewiesen hat, und sein Zustandekommen dürfte wohl durch diese kleine Abschweifung allgemein verständlich geworden sein.



Präzession und Säkularvariation des Perihels.

Wir stellen nun die empirischen Werte von  $ed\pi/dt$  nach Vornahme der besagten Korrektur zusammen, die bei *Newcomb* vorkommen:

$$\begin{aligned} \text{Lösung A gibt die Korrektur} &-1''\cdot96, \\ &\text{also } ed\pi/dt = +114''\cdot30 \\ \text{Lösung B gibt die Korrektur} &-0''\cdot21, \\ &\text{also } ed\pi/dt = +116''\cdot05 \end{aligned}$$

Als definitiv dagegen betrachtet *Newcomb* die nach Ausschluß der Lösung A mit den endgültigen Elementen der Erdbahn erhaltene Korrektur  $+1''\cdot30$ , also  $ed\pi/dt = +117''\cdot56 \pm 0''\cdot40$ , wo  $\pm 0''\cdot40$  der „geschätzte“ mittlere Fehler ist, der sicher dem Resultat ein größeres Zutrauen zuschreibt als es wirklich verdient. Da das vollständige Verwerfen der Lösung A nicht gerechtfertigt erscheint, wird man auch diese auf die definitiven Erdbahnelemente bringen. Dadurch geht die Korrektur von  $-1''\cdot96$  in  $-0''\cdot45$  über und wir hätten als zurzeit beste empirische Werte zu betrachten:

$$\begin{aligned} ed\pi/dt & & \varepsilon \\ \text{Lösung A} &\dots\dots\dots +115''\cdot81 \\ \text{„ B} &\dots\dots\dots +117''\cdot56 \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} ed\pi/dt \\ \text{Lösung A} \end{aligned}} \right\} \pm 0''\cdot10$$

Der Vergleich mit den endgültigen theoretischen Werten (S. 248) ergibt dann folgende Widersprüche zwischen Beobachtung und Theorie in  $ed\pi/dt$ :

$$\begin{aligned} & \text{Newcomb} & \text{Doolittle} & \varepsilon \\ \text{A} &\dots\dots\dots +6''\cdot18 & +6''\cdot87 \\ \text{B} &\dots\dots\dots +7''\cdot93 & +8''\cdot62 \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Newcomb} \\ \text{A} \end{aligned}} \right\} \pm 0''\cdot50$$

Es ist zu bemerken, daß der angegebene mittlere Fehler nur die Unsicherheiten der Massen und

die des empirischen Wertes enthält, dagegen nicht die zwischen den beiden Theorien als solchen auftretende Differenz berücksichtigt, weshalb wir auch immer beide Werte getrennt aufführen. Wir wissen ja nicht, welcher Theorie der Vorzug zu geben ist.

Bei den übrigen Säkularvariationen können wir, wie schon bemerkt, eine Kritik der empirischen Werte nicht geben. Wir behalten also die Zahlen *Newcombs* bei und stellen die endgültigen Differenzen für die vier Perihelie noch einmal zusammen unter Beifügung der mittleren Fehler  $\epsilon$ , mit welchen sie behaftet scheinen nach Maßgabe der in den Tabellen 4 und 6 angegebenen Zahlen  $\epsilon$ .

Tabelle 7.

Die endgültigen Widersprüche in  $e d\pi/dt$  zwischen der klassischen Theorie und der Beobachtung, verglichen mit den Zusatzbeträgen *Einsteins*.

|             | $\delta_N$ | $\delta_D$ | $\epsilon$     | <i>Einstein</i> |
|-------------|------------|------------|----------------|-----------------|
| Merkur A .. | + 6'',18   | + 6'',87   | } $\pm 0'',50$ | + 8'',82        |
| " B ..      | + 7,93     | + 8,62     |                |                 |
| Venus ..... | - 0,08     | - 0,07     | 0,26           | + 0,06          |
| Erde .....  | + 0,21     | + 0,21     | 0,13           | + 0,06          |
| Mars .....  | + 0,84     | + 0,89     | 0,36           | + 0,13          |

In die Tabelle sind außerdem zum Vergleich die nach *Einstein* zu erwartenden Korrekturen der theoretischen Säkularvariationen  $e d\pi/dt$  aus Tabelle 3 mit aufgenommen. Es zeigt sich zunächst, daß alle für das Merkurperihel aufgeführten Werte unter dem theoretischen Werte 8'',82 bleiben und ungefähr auf einen Wert in der Nähe von 7,5 hindeuten, so daß die Perihelbewegung selbst gegen 35" im Jahrhundert betrüge. In Anbetracht der Unsicherheit der Zahlen liegt aber *Einsteins* Wert noch innerhalb der schätzungsweise möglichen Grenzen, die zu rund 5'',5 nach unten, 9'',3 nach oben anzugeben wären (entsprechend 27" und 45" für  $d\pi/dt$ ).

Bei Venus und Erde sind die Zahlen sehr unsicher und man kann nur sagen, daß kein Widerspruch gegen *Einsteins* Theorie vorliegt. Bei Mars dagegen tritt eine Perihelbewegung von einem größeren Betrage auf, als ihn *Einstein* zu erklären vermöchte, wenn nicht auch hier eine künftige neue Bearbeitung andere empirische Werte liefert, die dann auch wesentlich sicherer sein müßten, um eine Bestätigung der kleinen Größe 0'',13 überhaupt zu gestatten. Die theoretischen Werte sind hier in guter Übereinstimmung und dürften wohl kaum eine bedeutende Änderung erfahren.

Es sei gleich an dieser Stelle hervorgehoben, daß man aus den mitgeteilten Zahlen nicht etwa eine Widerlegung der Einsteinschen Theorie ablesen wolle. Dies liegt nicht im Sinne dieser Ausführungen<sup>2)</sup> und es soll mit dieser Bemerkung

<sup>2)</sup> Auch nicht im Sinne *Grossmanns*, wie er in einem Zusatzartikel (Astr. Nachr. 214, 195) nochmals betont.

tendenziösen Aufbauschungen vorgebeugt werden, wie sie sich etwa Herr *Valier* (Rheinisch-Westfälische Zeitung, 18. IX. 21) anläßlich des Erscheinens des Aufsatzes *Grossmanns* geleistet hat.

Die vor *Einstein* unternommenen Erklärungsversuche für die empirischen Glieder der Säkularvariationen.

Es hat sich hier so ergeben, daß wir *Einsteins* Erklärung für die Perihelbewegungen zuerst behandelten. Bei der ganzen heute noch so strittigen Sachlage wäre es nicht im Sinne einer objektiven Berichterstattung, andere vor *Einstein* unternommenen Erklärungsversuche einfach zu ignorieren. Es kann dabei zunächst auf die bei *Wiechert* (a. a. O.) gegebene übersichtliche Besprechung dieser Versuche hingewiesen werden. Alle jene Arbeiten, welche auf eine Abänderung des Newtonschen Gesetzes abzielten, sollen hier weiter nicht behandelt werden. Sie beschäftigen sich fast ausschließlich mit der Erklärung der Perihelbewegung des Merkur allein und führen auf ähnliche Formeln hierfür, wie sie *Einstein* angegeben hat. Die Entscheidung über die Zulässigkeit dieser Theorien liegt aber auf anderen, vor allem elektrodynamischen, Gebieten und hier möchte der Astronom nicht auch noch in den herrschenden Kampf eingreifen. Dagegen soll nicht unterlassen werden, die auf rein astronomischem Wege, unter strenger Beibehaltung des Newtonschen Gesetzes, versuchten Erklärungen, die bezüglich des Merkurperihels schon *Newcomb* in seiner letzten Arbeit kommentiert und diskutiert, zu besprechen; um so mehr, als sie sich zum Teil nicht auf die Perihelbewegungen allein beschränken, sondern versuchen, möglichst alle empirischen Glieder innerhalb ihrer Fehlergrenzen darzustellen.

Schon *Leverrier* hatte sich um die Erklärung der in der Säkularvariation des Merkurperihels von ihm festgestellten Differenz bemüht. Was lag einem Manne, der von der universellen Gültigkeit des Newtonschen Gravitationsgesetzes so überzeugt war, daß er es hatte unternehmen können, einen bis dahin unbekannten Planeten, den Neptun, aus dessen Störungen auf Uranus zu berechnen, näher als die Annahme eines „intra-merkuriellen“ Planeten? Die Hypothese einer einzelnen störenden Masse verwirft er allerdings, weil sie wegen ihrer zu fordernden Größe und Helligkeit den Beobachtungen nicht hätte entgegen dürfen, und kommt zu der Schlußfeststellung: „Ceux à qui ces objections paraîtront trop graves, seront conduites à remplacer cette planète unique par une série d'astéroïdes dont les actions produiront en somme le même effet total sur le périhélie de Mercure. Outre que ces astéroïdes ne seront pas visibles dans les circonstances ordinaires, leur répartition autour du Soleil sera cause qu'ils n'introduiront dans le mouvement de mercure aucune inégalité périodique de quelque importance.“



In derselben Richtung haben sich in der Folge eine Reihe weiterer Erklärungsversuche bewegt, bis sie ihren, wohl als endgültig zu betrachtenden, Abschluß in den Arbeiten v. *Seeligers* über „Das Zodiakallicht und die empirischen Glieder in der Bewegung der inneren Planeten“ (Sitz-Ber. München 1906 und Astr. Nachr. 201, 273) gefunden haben. Wir werden die Ergebnisse dieser Arbeit besprechen, nachdem wir erst noch zweier anderen Versuche zur Erklärung der empirischen Glieder gedacht haben.

Der eine dieser Versuche schreibt der *Sonne ungleiche Hauptträgheitsmomente* zu und ist ausführlich von *Harzer* (Astr. Nachr. 127, 81) diskutiert und verteidigt worden. Will man aber nicht von der Forderung des Gleichgewichtszustandes des Sonneninneren absehen, wie dies *Harzer* tut, dann müßte, wie *Seeliger* in der ersten der genannten Arbeiten ausführt, um den vollen Betrag von  $d\pi/dt$  zu erklären, eine Abplattung der Sonne angenommen werden, die durch die Beobachtungen nicht bestätigt wird. Nach diesen ist der Unterschied zwischen dem äquatorealen und dem polaren Sonnendurchmesser sicher nicht größer als  $0'',1$ , und dadurch kann höchstens eine Drehung des Perihels von  $2'',5$  im Jahrhundert bewirkt werden. Ein solcher Betrag wird aber erst berücksichtigt werden müssen, wenn einmal eine genauere Theorie der Merkurbewegung möglich sein wird.

*Anding* hat 1905 in einem Enzyklopädieartikel „Über Koordinaten und Zeit“ (VI, 2 Heft 1) das von der Astronomie gebrauchte empirische Koordinatensystem auf seine Eigenschaft als *Inertialsystem* untersucht. Dieses empirische System ist nach den Fixsternen orientiert, und es ist a priori nicht ausgemacht, daß es ein Inertialsystem im Sinne der Mechanik ist, d. i. ein solches, in dem das Trägheitsgesetz gilt. Ist dies aber nicht der Fall, d. h. befindet sich das empirische System etwa in Rotation gegenüber dem fingierten Inertialsystem, dann müssen zwischen der auf das Inertialsystem bezogenen Theorie des Planetensystems und den im empirischen System angestellten Beobachtungen Differenzen auftreten, und zwar in allen Elementen. *Anding* leitet aus den Newcombschen empirischen Gliedern unter Weglassung des Merkurperihels, das allein sich nur zum Teil durch diese Rotation des empirischen Koordinatensystems erklären läßt, den Betrag von  $7'',3 \pm 2'',3$  ab. Wie aber diese Drehung zustande kommen soll, darüber vermag die klassische Theorie keine mit den übrigen Erfahrungen der Astronomie zu vereinbarende befriedigende Auskunft zu geben.

#### *Seeligers Zodiakallichttheorie.*

Wir wenden uns jetzt derjenigen Erklärung der empirischen Glieder zu, welche heute wohl von allen nicht auf relativistischem Standpunkte Stehenden als die wahrscheinlichste und beste angesehen wird, weil sie — obwohl von manchen

Seiten unter die „ad hoc“ konstruierten Hypothesen gezählt — mit durchaus möglichen, durch die Beobachtungen teilweise bestätigten Verhältnissen rechnet und sich zudem nicht auf die Perihelbewegungen allein beschränkt, sondern auch die anderen Säkularvariationen (mit Ausnahme derer der Exzentrizitäten) berücksichtigt. Es ist dies die erwähnte Zodiakallichttheorie v. *Seeligers*. *Seeliger* denkt sich die das Zodiakallicht erzeugende kosmische Wolke als stark abgeplattetes Ellipsoid mit von der Sonne nach außen irgendwie abnehmender Dichte und dem Äquator der Sonne als Symmetrieebene. Die äußere Begrenzung wird in die Entfernung 1,2 versetzt, so daß also die Erdbahn noch von der Wolke umschlossen wird. Die säkularen Störungen werden im wesentlichen bedingt durch die Dichteverhältnisse im Innern des Ellipsoids, und diese werden daher so zu bestimmen sein, daß die empirischen Glieder erklärt werden. Man wird sich für die Rechnung das gesamte Ellipsoid zerlegt denken in mehrere ineinandergeschachtelte Teilellipsoide von jeweils konstanter Dichte. *Seeliger* versuchte zuerst 5 solcher Ellipsoide anzunehmen, deren äußere Begrenzungen in den bezüglichen Sonnenentfernungen 0,10, 0,17, 0,24, 0,60 und 1,20 lagen und mit den Dichten  $q_1, q_2, \dots, q_5$ . Es ist dann so, daß in dem innersten Ellipsoid die Dichte  $q_1 + q_2 + \dots + q_5$  ist, zwischen ihm und dem nächsten  $q_2 + q_3 + q_4 + q_5$ , zwischen diesem und dem dritten  $q_3 + q_4 + q_5$  usw. Die Merkurbahn verläuft zwischen 3 und 4 ( $a = 0,39$ ), die von Venus und Erde zwischen 4 und 5 ( $a = 0,72$  bzw. 1,00). Es zeigt sich aber, daß einerseits die Beobachtungen nicht hinreichen, ein bereits so detailliertes Bild der Dichteverteilung zu entwerfen, andererseits es auch „ganz gleichgültig ist, wie die Dichtigkeit der Massenverteilung in der Nähe der Sonne bis zu etwa  $\frac{2}{3}$  der Merkurentfernung verläuft“. Infolgedessen wird von den drei inneren Ellipsoiden nur 3 ( $a = 0,24$ ) beibehalten. Auch 4 kann als unwesentlich fortbleiben, so daß *Seeliger* zuletzt nur mit zwei Ellipsoiden rechnet, 3 und 5, durch die natürlich „die Massenverteilung im Zodiakallicht nur in ganz allgemeinen Umrissen bestimmbar ist, was in jedem Falle nicht zuungunsten der ganzen Hypothese zu sprechen scheint“.

Außerdem führt *Seeliger* noch die Komponente  $r$  der Rotation des empirischen Systems um eine Achse senkrecht zur Ekliptik ein und die die Lage des Äquators der Ellipsoide gegen die Ekliptik charakterisierenden Neigungen und Knotenlängen. Die endgültigen, uns hier interessierenden Resultate sind:

$$\begin{aligned} q_3 &= (2,18 \pm 0,10) \cdot 10^{-11} \text{ Sonnendichten} \\ q_5 &= (0,31 \pm 0,17) \cdot 10^{-14} \text{ „} \\ r &= 5'',85 \pm 1'',22 \end{aligned}$$

Um einen Begriff zu geben, wie gut die Darstellung ist, ist diese in der folgenden Tabelle mitgeteilt, natürlich verglichen mit den alten

Werten *Newcombs*, da diese ja *Seeligers* Rechnungen zugrundeliegen.

Bewegung des Merkurperihels weggeschafft, sondern auch die des Venusknotens, ohne daß an

Tabelle 8.

Darstellung der empirischen Glieder *Newcombs* durch *Seeliger* (*N—S*), *de Sitter* (*N—de S*) und *Bauschinger* (*B*).

|                     |              | <i>Newcomb</i>  | <i>N—S</i> | <i>N—de S</i> | <i>N—B</i> |
|---------------------|--------------|-----------------|------------|---------------|------------|
| $e d\pi/dt$         | Merkur ..... | + 8",48 ± 0",43 | — 0",09    | 0",00         | — 0",47    |
|                     | Venus .....  | — 0,05 0,25     | — 0,10     | — 0,05        | — 0,12     |
|                     | Erde .....   | + 0,10 0,13     | + 0,03     | + 0,18        | 0,00       |
|                     | Mars .....   | + 0,75 0,35     | + 0,16     | + 0,52        | + 0,67     |
| $d i/dt$            | Merkur ..... | + 0,38 0,80     | — 0,14     | — 0,12        | + 0,28     |
|                     | Venus .....  | + 0,38 0,33     | + 0,21     | + 0,17        | + 0,30     |
|                     | Mars .....   | — 0,01 0,20     | + 0,01     | + 0,05        | — 0,09     |
| $\sin i d\Omega/dt$ | Merkur ..... | + 0,61 0,52     | — 0,04     | + 0,55        | + 0,25     |
|                     | Venus .....  | + 0,60 0,17     | + 0,02     | + 0,01        | + 0,02     |
|                     | Mars .....   | + 0,03 0,22     | — 0,20     | — 0,11        | — 0,07     |

Wie man an den Differenzen *N—S* der *Seeligerschen* Rechnungen gegen *Newcombs* Restglieder sieht, ist die Darstellung durchweg innerhalb der mittleren Fehler geleistet. Aus den Zahlen  $q_3$  und  $q_5$  findet man die Gesamtmasse der Zodiakalwolke =  $3 \cdot 10^{-7}$  Sonnenmassen, und die mittlere Dichtigkeit ist ungefähr so gering, wie wenn man etwa 30 l Wasser auf einen Kubikkilometer versprengte. *Seeliger* konnte daher mit Recht schließen, „daß die empirischen Glieder in der Bewegung der inneren Planeten tatsächlich auf die Massen des Zodiakallichts zurückzuführen sind“. Um bei dem Worte „kosmischer Staub“ nicht falsche Vorstellungen zu erwecken, ist es vielleicht wichtig zu bemerken, daß die einzelnen Teilchen sehr wohl ordentliche Steine sein können, deren Dimensionen nach Metern zu bemessen sind. Der Begriff „Staub“ bedingt nur die relative Kleinheit der einzelnen Teile gegenüber ihren gegenseitigen Abständen.

Das innere Ellipsoid bestimmt im wesentlichen die Bewegung des Merkurperihels. Es liefert dazu allein + 7",40. Bei den übrigen Gliedern, namentlich dem Marsperihel, spielt die Hauptrolle die Drehung  $r$  des Koordinatensystems, die bei *Seeliger* zwar kleiner herauskommt als bei *Anding*, aber immerhin noch beträchtlich ist. *Seeliger* schon hat den Gedanken ausgesprochen, daß es durch passende Wahl der Massenverteilung wahrscheinlich gelingen würde,  $r$  noch weiter zu verkleinern. *de Sitter* hat einen solchen Versuch gemacht (Observatory Nr. 463). Er postuliert (nach anderen Untersuchungen)  $r = 1",24$  und findet, wenn er  $q_3 = 2,42 \cdot 10^{-11}$  und  $q_5 = 0,37 \cdot 10^{-14}$ , also etwas größer als *Seeliger*, setzt, die unter *N—de S* in der Tabelle aufgeführten Zahlen. Die Darstellung ist zwar nicht so gut wie die von *Seeliger*, aber die Zahlen sind mit den mittleren Fehlern *Newcombs* durchaus vereinbar, vor allem ist nicht nur die

anderen Stellen ernstliche Widersprüche auftreten.

Selbstverständlich würde sich *Seeligers* Hypothese auch einem korrigierten Wertesystem *Newcombs* anpassen lassen, da sie in ihren Grundannahmen ziemlichlichen Spielraum läßt, was manche tadeln (*Freundlich*, Astr. Nachr. 201, 48), *Seeliger* selbst aber gerade als Vorzug ansieht. Wie man sich auch persönlich in dem Streit um die Relativitätstheorie stellen mag, so viel wird man immer zugeben müssen, daß die klassische Mechanik die empirischen Glieder auf Grund durchaus möglicher und wahrscheinlicher Vorstellungen erklären kann.

#### *Bauschingers Versuch einer Verwertung der Zusatzglieder Einsteins.*

Schließlich sei in diesem Zusammenhange noch eines Versuches gedacht, den *Bauschinger* (a. a. O.) unternommen hat. Von relativistischer Seite war bisher ja immer das Merkurperihel als Einzelfall herausgegriffen worden. Wir haben gelegentlich schon darauf hingewiesen, daß man in solchen Fällen vorsichtig sein muß, denn es wäre durchaus möglich, daß eine geänderte Theorie des Merkurperihels auch Änderungen an anderen Stellen des Planetenproblems bedingte. Infolgedessen hat sich *Bauschinger* folgende Aufgabe gesetzt: Angenommen, die von *Einstein* geforderten Zusatzbeträge der Säkularvariationen der Perihelie der vier inneren Planeten seien als genügend begründet in die Theorie mit aufzunehmen; läßt sich dann ein die Beobachtungen befriedigendes homogenes System von Massen und Säkularvariationen der inneren Planeten ableiten? Er führt als Unbekannte in die Gleichungen, von denen wir S. 223 zwei als Beispiele gegeben haben, die Massen von Merkur, Venus und Erde ein, außerdem die Rotationskomponente des Koordinatensystems, und findet die folgenden Werte für die Unbekannten:



|              |                                     |  |
|--------------|-------------------------------------|--|
| Merkur . . . | $1/m = 6\,680\,000 \pm 1\,030\,000$ |  |
| Venus . . .  | $1/m' = 407\,300 \pm 2\,160$        |  |
| Erde . . .   | $1/m'' = 331\,846 \pm 1\,500$       |  |
|              | $r = 2'',07 \pm 1'',56$             |  |

Die Darstellung ist in Tabelle 8 mit aufgenommen unter *N—B*. Es sei dabei besonders darauf hingewiesen, daß nun auch das Glied im Venusknoten verschwunden ist, eine gute Illustration zu dem oben Gesagten: obwohl die Relativitätstheorie an sich *nur* für die Perihelbewegungen Zusatzglieder liefert, führt deren Berücksichtigung auch auf Änderungen der anderen Säkularvariationen, hier vor allem des Venusknotens. Das wäre also das Ergebnis unter Berücksichtigung der Relativitätstheorie. Die Massen stimmen bis auf die Erdmasse ganz gut mit denen überein, die man heute als die wahrscheinlichsten bezeichnen kann. Bei der Erdmasse ergibt sich ein verhältnismäßig kleiner Wert. Hier bestehen ja aber überhaupt noch die früher erwähnten Schwierigkeiten. Und schließlich ergibt sich die Rotationskomponente von einem durchaus plausiblen kleinen Betrage, wie er nach *de Sitter* gemäß den Differenzen der verschiedenen Bestimmungen der Präzessionskonstanten wahrscheinlich ist. Wenn man die Relativitätstheorie in das Rüstzeug der Himmelsmechanik aufnehmen will, dann stellt dieser Versuch *Bauschingers* — der vorerst mit unzulänglichen Mitteln, d. h. recht unsicheren empirischen Gliedern, unternommen wurde — einen Fingerzeig dar, in welcher Richtung dies geschehen muß: nicht durch Herausgreifen eines einzelnen Gliedes, sondern durch konsequente Durcharbeitung der *ganzen* Theorie der inneren Planeten muß geprüft werden, ob die neue Theorie ein einwandfreieres, alle Beobachtungen darstellendes System von Massen und Säkularvariationen zu liefern vermag als die klassische Himmelsmechanik.

#### Zusammenfassung.

Es sei gestattet, zum Schlusse noch einmal in kurzen Sätzen hinzustellen, was als wesentlicher Inhalt der vorstehenden Ausführungen betrachtet werden soll.

1. In der auf klassisch-mechanischer Grundlage aufgebauten Störungstheorie der inneren Planeten scheinen noch gewisse Mängel vorhanden zu sein, die im Wesen der Methoden liegen. Namentlich tritt in den von *Newcomb* und *Doolittle* berechneten Säkularvariationen der Perihellänge des Merkur unter Zugrundelegung derselben Massenwerte eine erhebliche Differenz von  $3'',35$  in der hundertjährigen Bewegung auf. Es existiert bis jetzt keine kritische Untersuchung über den Grund dieser Diskrepanz.
2. Die Massen von Merkur, Venus und Erde sind noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet und bedingen jedenfalls eine ziemliche Unsicherheit in den theoretischen Werten der Säkularvariationen; namentlich geht die

Venusmasse mit großem Gewicht in die Perihelbewegung des Merkur ein.

3. Die von *Newcomb* abgeleiteten empirischen Säkularvariationen stellen kein homogenes System dar, da sie durch Näherungsverfahren von angreifbarem Werte erhalten wurden. Die Unsicherheit ist sicher bedeutend größer als sie durch *Newcombs* mittlere Fehler charakterisiert wird. Insbesondere gilt dies für das Merkurperihel, wo das endgültige Resultat durch Ausschluß der Ergebnisse der Meridiankreisbeobachtungen erhalten wurde und außerdem durch einen Rechenfehler entstellt zu sein scheint.
4. Aus den Arbeiten *Newcombs* kann bezüglich des unerklärten Teiles der Perihelbewegung des Merkur nur geschlossen werden, daß dieser etwa innerhalb der Grenzen  $27''$  und  $45''$  pro Jahrhundert liegt und daß die Wahrscheinlichkeit dafür, daß der Wert  $35''$  übersteigt, größer sein dürfte als die, daß er unter dieser Grenze bleibt.
5. Es ist möglich, die sämtlichen empirischen Glieder *Newcombs* innerhalb der gegebenen Genauigkeitsgrenzen durch plausible Annahmen von Massen, deren Hauptteil innerhalb der Merkurbahn liegt, zu erklären, unter Hinzufügung einer Drehung des empirischen Koordinatensystems gegen das Inertialsystem. Ein Anzeichen für das Vorhandensein solcher Massen ist in der Erscheinung des Zodiakallichts zu erblicken, das auf Reflexion von Sonnenlicht an kosmischen Staubeilchen hervorgerufen wird.
6. Zwischen den von der Relativitätstheorie geforderten Zusatzbeträgen zu den Säkularvariationen der Perihelie (die anderen Elemente bleiben unberührt) und den empirischen Gliedern *Newcombs* besteht, mit Ausnahme des Marsperihels, kein Widerspruch innerhalb der augenblicklich erreichten Genauigkeit. Von einer mehr als höchstens qualitativen Bestätigung der Einsteinschen Theorie kann aber vorerst nicht die Rede sein und ein Widerspruch in der Perihelbewegung des Mars bleibt nach wie vor bestehen (selbst bei dem Versuche *Bauschingers*).
7. Es muß als dringlichste Aufgabe der Astronomie der nächsten Jahre bezeichnet werden, das Problem der vier inneren Planeten einer erneuten Bearbeitung zu unterziehen, namentlich in der Frage der Massen und der empirischen Werte der Säkularvariationen. Ein diesbezüglicher Antrag ist auf der diesjährigen Versammlung der Astronomischen Gesellschaft in Potsdam eingebracht worden. Das Problem steht jedoch in innigem Zusammenhange mit anderen, die zuerst erledigt werden müssen, vor allem mit der Frage der systematischen Fehler der Fundamentalkataloge. Wenn erst die Vorschläge

der Kommission bekannt sein werden, kann vielleicht an dieser Stelle darüber berichtet und die ganze Verwickeltheit der Sachlage beleuchtet werden.

Es erscheint, angesichts so mancher Entgleisungen in den Debatten über die hier angeschnittene Frage, nicht unberechtigt, wenn als letztes noch die Hoffnung ausgesprochen wird, einen objektiven Bericht wie diesen, nicht von den widerstreitenden Parteien für sich in Anspruch genommen und durch bewußte oder unbewußte Entstellungen tendenziös ausgeschlachtet sehen zu müssen.

### Besprechungen.

**Haecker, Valentin, Allgemeine Vererbungslehre.** Dritte umgearbeitete Auflage. Braunschweig, Fr. Vieweg u. Sohn, 1921. 444 S., 149 Figuren im Text und 1 Titelbild. Preis geh. M. 46,—; geb. M. 54,—.

Nach den Lehrbüchern von *Baur* und *Goldschmidt* liegt nun auch *Haeckers* „Allgemeine Vererbungslehre“ in neuer Auflage vor. Die drei Werke ergänzen sich aufs beste, da jeder der drei Autoren das Gebiet von einem anderen Standpunkte aus betrachtet. *Baur* und *Goldschmidt* stellen die experimentelle Seite in den Vordergrund, und zwar der eine als Botaniker, der andere als Zoologe. *Haecker* tritt als Zytologe an die Behandlung der Vererbungslehre heran, das materielle Substrat der Vererbungserscheinungen bildet den Hauptgegenstand seiner Darstellung. Gerade die Erfolge der Experimentalforschung in den letzten Jahren haben gezeigt, wie notwendig es ist, neben dem Experiment die Morphologie nicht zu vernachlässigen. Es ist leider so, daß die Vererbungszytologie mit der experimentellen Genetik nicht gleichen Schritt gehalten hat. Wenn *Haecker* im Vorwort davor warnt, die Ergebnisse der Zytologie zu überschätzen und das Hypothetische und Unsichere mit den sicheren Ergebnissen zu verwechseln, so kann man ihm nur beipflichten. Wir stehen heute in der Zytologie durchaus noch nicht am Ende der Möglichkeiten, wie bisweilen geglaubt wird, ganz mit Recht bezeichnet *Haecker* die Zellforschung auch heute noch als ein besonders aussichtsreiches Forschungsfeld, und man möchte hoffen, seine „Vererbungslehre“ möge dazu beitragen, die zytologische Vererbungsforschung, die in den letzten Jahren zu viel theoretisch und zu wenig praktisch betrieben worden ist, aufs neue zu beleben.

Die Literatur wird in der neuen Auflage bis auf die neueste Zeit berücksichtigt, wenigstens die inländische. Es ist eine ganz erstaunliche Fülle von Material in dem Buche zusammengetragen. Das erreicht ihm freilich nicht in jeder Hinsicht zum Vorteil. Als Einführung in das Gebiet erscheint es mir nicht ganz so geeignet wie die Lehrbücher von *Baur* und *Goldschmidt*, die auf diese Vollständigkeit von vornherein verzichten und nur ausgewählte Beispiele bringen. Die Fülle von Literaturnotizen muß auf den Lernenden verwirrend wirken, zumal da manche ganz entgegengesetzte Ansichten angeführt werden, ohne daß der Verf. immer selbst dazu Stellung nimmt. Für den, der selbst auf dem Gebiete tätig ist, stellt das Buch aber zweifellos eine reiche Fundgrube dar, die man nicht vermissen möchte.

Der erste Abschnitt bringt eine historische Einleitung. Es werden die allgemeinen Begriffe, die vul-

gären Erscheinungsformen der Vererbung und die statistischen und genealogischen Methoden kurz erörtert. Man vermißt eine scharfe Definition des Vererbungsbegriffes. Es wäre wohl zweckmäßig, der vulgären, sehr weitgehenden Anwendung dieses Begriffes gleich das gegenüberzustellen, was die moderne Genetik unter „Vererbung“ versteht. Die verschiedene Begriffsanwendung führt immer wieder — und nicht nur bei Laien! — zu Mißverständnissen. Dem, was *Haecker* über die Anwendung des Ausdruckes „Gesetz“ in der Biologie sagt, vermag ich nicht beizupflichten. Ich bin der Meinung, daß wir heute sehr wohl berechtigt sind, von Mendelschen Gesetzen zu sprechen. Wir kennen ein Spaltungsgesetz und ein Gesetz der freien Kombination und sind vielleicht auf dem Wege, weitere Vererbungsgesetze festzustellen. Wenn *Haecker* mit *Roux* für ein Naturgesetz die Erkenntnis der *Ausnahmslosigkeit* seiner Wirkungsweise postuliert, so sei er auf die Anschauungen hingewiesen, die heute in Physik und Chemie hinsichtlich des Gültigkeitsbereiches der Naturgesetze herrschen. „Häufig stellt man sich“, so sagte jüngst *Nernst* in seiner Rektoratsantrittsrede, „das Naturgesetz als etwas Starres und Unabänderliches vor; aber diese Vorstellung müssen wir korrigieren, sobald wir in eine gründlichere, historische Betrachtung eintreten.“ Und weiter: „Erfahrungsgemäß steht fest, daß unsere Naturgesetze provisorischen Charakters sind, den sie höchstwahrscheinlich nie verlieren werden, bisher wenigstens ist noch jedes Naturgesetz an Grenzen gelangt, außerhalb deren es uns merklich im Stiche läßt, innerhalb deren es zwar praktisch unmerklich, im Prinzip aber ebenso unrichtig wird.“ Alle unsere Naturgesetze sind nach *Nernst* wesentlich statistischen Charakters. Übrigens will, nebenbei bemerkt, auch *Nernst* die Vererbungsgesetze nicht als Naturgesetze im Sinne von Physik und Chemie gelten lassen — m. E. mit Unrecht, doch liegt ein Eingehen hierauf außerhalb des Rahmens dieser Besprechung.

Der zweite Abschnitt ist den morphobiologischen Grundlagen der Vererbung gewidmet, an den sich im dritten Abschnitt eine Darstellung von *Weismanns* Vererbungslehre anschließt. Hier wird auch das viel diskutierte Problem der Vererbung erworbener Eigenschaften ausführlich besprochen. Die Fragestellung ist heute ja eine ganz andere als zu *Lamarcks* Zeiten. Was die Frage der Vererbung erworbener Eigenschaften in dem ursprünglichen Lamarckschen Sinne anbetrifft, so sagt *Haecker*, daß zurzeit kein Biologe und wohl auch kein Mediziner mehr eine Vererbung funktioneller Abänderungen als ein des Beweises nicht weiter bedürftiges Axiom annehme, während die Mehrzahl der Tierzüchter noch immer mit einer solchen Vererbung als einem der wichtigsten Faktoren bei der Neubildung der Kulturrassen rechne. Was *Haecker* hier über die Tierzüchter sagt, trifft leider zu, aber steht die große Mehrzahl der Mediziner in dieser Hinsicht so hoch über ihnen? Man findet auch heute noch selbst in medizinischen Lehrbüchern recht sonderbare Vorstellungen über Vererbung.

Die experimentelle Bastardforschung kommt im vierten Abschnitt zu Wort. Hier vermag ich in manchem *Haecker* nicht zu folgen. Der Begriff des multiplen Allelomorphismus wird auf S. 237 in einer Weise angewandt, die im allgemeinen nicht üblich ist. Wenn es auf S. 266 heißt, daß für den Zoologen die Annahme einer unreinen Spaltung durchaus nichts Unwahrscheinliches in sich birgt, so muß dazu gesagt werden, daß die große Mehrzahl der Zoologen einer



derartigen Annahme doch wohl ebenso ablehnend gegenübersteht wie die meisten Botaniker. Zu behaupten, daß die *Morgansche* Crossing-over-Theorie sich mit der Annahme unreiner Spaltungen „eng berührt“, wie wir auf der gleichen Seite lesen, geht wirklich nicht an! Mit der unreinen Spaltung ist doch nicht eine „Unreinheit der Chromosomen“ gemeint, sondern eine „Unreinheit der Gene“, und gegen eine solche Annahme wendet sich mit Recht *Morgan* mit aller Schärfe. Sie hat mit dem Faktorenaustausch nichts gemein. Daß die Reduplikationstheorie noch so ausführlich behandelt wird, erscheint überflüssig; sie hat höchstens noch historisches Interesse und sollte aus einem Lehrbuch verschwinden. Überhaupt neigt *Haecker* dazu, Hypothesen und Theorien, die längst zum alten Eisen gehören, immer noch einen Raum zu gewähren (Indexhypothese, Achromatinerhaltungshypothese!).

Neu hinzugekommen ist in der dritten Auflage der fünfte Abschnitt: Rassen- und vererbungsgeschichtliche Aufgaben der Entwicklungsgeschichte (Phänogenetik), ein noch viel Erfolg versprechendes Gebiet, über das ja bereits eine eigene zusammenfassende Darstellung *Haeckers*, seine „Entwicklungsgeschichtliche Eigenschaftsanalyse“, vorliegt. In diesem Abschnitt werden auch unsere bisherigen Kenntnisse über Vererbung beim Menschen kurz dargestellt.

Den Ausführungen *Haeckers* im sechsten Abschnitt, betitelt: Morphobiologische Vererbungshypothesen, kann ich größtenteils beipflichten. Daß *Federley* seine Ansicht, bei den Schmetterlingen finde Metasyndese statt, aufgegeben hat, sei nur nebenbei erwähnt. Zur Darstellung des Geschlechtsbestimmungsproblems sei bemerkt, daß es heute doch wohl ein fruchtloses Bemühen ist, Zweifel daran zu wecken, daß die Geschlechtschromosomen die Träger der geschlechtsbestimmenden Faktoren sind, und andererseits Stimmung für die Indexhypothese zu machen.

Ganz kurz werden die Ergebnisse der *Morgansche* Schule an *Drosophila* behandelt. Die gegen die Crossing-over-Theorie von anderen Autoren bisher vorgebrachten und von *Haecker* zitierten Einwände sind nicht stichhaltig und bereits widerlegt. *Castle* hat übrigens seine Ansicht über die dreidimensionale Anordnung der Faktoren inzwischen selbst aufgegeben und sich der Ansicht *Morgans*, daß die Faktoren linear angeordnet sind, angeschlossen. Was die zytologischen Beobachtungen anbetrifft, so sei *Haecker* ohne weiteres zugegeben, daß hier noch eine empfindliche Lücke besteht, aber — die bisherigen Beobachtungen sprechen nicht gegen die Theorie.

Bisweilen scheint mir die Skepsis *Haeckers* zu weit zu gehen. So wenn er des längeren die Frage diskutiert, ob die Anlagenspaltung in der Reduktionsteilung stattfindet, und zu dem Resultat kommt, daß „das Reduktionsproblem selbst trotz der weitverbreiteten Zuversicht, welche bezüglich dieses Punktes besteht, immer noch nicht endgültig gelöst ist“, und daß „bezüglich der speziellen Frage, ob die Anlagenspaltung in den Reifungsteilungen erfolgt, bisher nur an wenigen Stellen sicherer Boden erreicht sein dürfte“. *Renners* schöner Beweis für die Mendelsche Spaltung im Pollen von *Onothera*bastarden fehlt merkwürdigerweise vollständig.

Der Schlußabschnitt bringt einen Ausblick auf die praktische Bedeutung der neuen Forschungsergebnisse. Noch haben wir erst zwei Jahrzehnte experimenteller Vererbungsforschung hinter uns, aber schon beginnen

die ersten Früchte zu reifen, schon können wir daran gehen, die gewonnenen Ergebnisse für die Praxis, Pflanzen- und Tierzucht sowie Medizin, nutzbar zu machen. Möge das *Haeckersche* Werk mit dazu dienen, die Erkenntnis von der weitreichenden Bedeutung des jungen Forschungsgebietes in weiteste Kreise zu tragen.

H. Nachtsheim, Berlin.

**Dacqué, Edgar, Vergleichende biologische Formenkunde der fossilen niederen Tiere. Zweite Hälfte. Berlin, Gebrüder Borntraeger, 1922. Seite 337—777. Preis M. 165,—.**

Der zweite Teil des nunmehr abgeschlossenen Werkes behandelt in vier Abschnitten die „Anpassungserscheinungen bei liegenden, sitzenden und über dem Boden sich bewegenden niederen Tieren“, „die Formbildung schwimmender und schwebender Tiere“, den „Schalen- und Skelettbau“ und endlich „die stammesgeschichtliche Betrachtungsweise der organischen Formen“.

Schon diese Gruppierung, die sich aus der analytischen Untersuchung der Anpassungen der fossilen Wirbellosen an ihre Lebensweise zwanglos ergab, zeigt uns den großen Gegensatz zwischen den beiden großen Gruppen des Tierreiches, die man als Evertebraten und Vertebraten einander gegenüberzustellen pflegt. Während die Wirbeltiere in allgemein biologischer Hinsicht durch einen hohen Grad von Bewegungsfreiheit gekennzeichnet sind, erscheinen die Wirbellosen, mit Ausnahme der Insekten, weit mehr an den Boden gebunden und umfassen zumeist schwerfällige, schwerbewegliche, ja zu einem sehr großen Teile festsitzende Formen, sind also gegenüber den Wirbeltieren, wenn wir von den Insekten absehen, durch einen im großen und ganzen sehr geringen Grad von Bewegungsfreiheit gekennzeichnet, der bei vielen großen Gruppen der niederen Tiere zur Annahme der sessilen Lebensweise geführt hat. Es ist daher ganz natürlich, daß sich die Analyse der Anpassungsformen der Evertebraten, wie sie hier von *Dacqué* durchzuführen versucht worden ist, auf die Anpassungen an die vagilbenthonische und sessilbenthonische Lebensweise konzentriert, während die Anpassungen an das Schwimmen und Schweben neben den erstgenannten einen vergleichsweise geringen Raum einnehmen. Eine Darstellung dieser Anpassungen mußte daher in den Mittelpunkt eines Werkes rücken, das sich die Analyse der Anpassungen der Evertebraten zur Aufgabe setzte, und so erklärt sich der breite Raum (Seite 265—457), der diesen Fragen gewidmet erscheint.

Der zweite Teil des Werkes setzt die Besprechung der Anpassungen der auf dem Boden verankerten oder festsitzenden Tiere fort. An einer großen Reihe von Beispielen wird die Verschiedenartigkeit der Anpassungen an die sessile Lebensweise dargelegt und die Darstellung durch vorzügliche Abbildungen unterstützt. Diesen Ausführungen schließt sich die Besprechung der Kolonien und der Riffbildungen als benthonische Lebensgemeinschaften an. Dann folgen Erörterungen der verschiedenen Wege und Mittel zur Erhebung des festgewachsenen Tieres über den Boden; eine Darstellung der Formanpassungen im Gefolge des Kampfes um den Raum und gegen die Strömung; die Besprechung von Anpassungen an das Einwühlen, Graben und Bohren; und es hätte nur vielleicht, wie dies der Ref. vor kurzem dargelegt hat, mehr Gewicht auf den Unterschied zwischen den mechanisch-bohrenden und den sich Wohnräume und Wohngänge ausätzenden Tieren gelegt werden sollen. Die Schilderung der Er-



scheinungen, die wir als Epökie, Parasitismus und Symbiose zu bezeichnen pflegen, bildet den Abschluß dieses inhaltsreichen Abschnittes.

Von besonderem Interesse sind die Ausführungen des Verfassers über die Anpassungen an das Schwimmen und Treiben, wobei das Schergewicht auf die bisher über die Lebensweise der Cephalopoden und Trilobiten angestellten Untersuchungen gelegt wird. Die Erörterungen über die Lebensweise der fossilen Schalencephalopoden enthalten eine Fülle neuer Gesichtspunkte und den Hinweis auf manche bisher unbeachtet gebliebene Tatsache, so daß besonders dieses Kapitel das Interesse der Fachkreise erregen wird, wenn auch vermutlich, wie das bei einem vielfach noch so wenig auf analytischem Wege durchforschten Gebiete der Fall sein muß, manche Widersprüche nicht ausbleiben werden. Dem Ref., der auf dem gleichen Gebiete gearbeitet hat, erscheint jedoch gerade dieses Kapitel in wissenschaftlicher Hinsicht als eines der wertvollsten des Buches.

Da bei den wirbellosen Tieren Schalen und Panzerbildungen im Gegensatz zu inneren Skelettbildungen weitaus häufiger sind, so lag es nahe, daß diesen Hartteilen der fossilen Evertibraten vom Verf. besondere Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Sind es doch in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle nur diese äußeren Hartteile, die uns von den fossilen Evertibraten erhalten geblieben sind und einen Schluß auf die innere Organisation des Tieres ermöglichen. So mußte zunächst das Verhältnis zwischen Hartteilen und Weichkörper besprochen werden, dem sich eine Darstellung der statischen Verhältnisse des Außenskelettes anschließt. Sehr deutlich sehen wir hier die dringende Notwendigkeit, daß sich der Paläobiologe eingehender, als dies bisher vielfach geschah, mit mechanischen Problemen abgeben sollte, um Fehlschlüsse zu vermeiden. Vieles, was bei Außenskeletten als „ornamental“ gedeutet wurde, erweist sich bei genauerer Untersuchung als eine vom statisch-mechanischen Erfordernis aus notwendige Einrichtung und es ist besonders das Problem der verschiedenen Wege der „Versteifung“ für das Verständnis der Außenskelette von einschneidender Bedeutung. In Einzelfragen wird man auch hier dem Autor nicht immer beipflichten können. Wenn z. B. (S. 611, Fig. 290) die schweren, keulenförmigen Stacheln mancher Cidariden (Cidaris) oder Diadematen (z. B. Hemicidaris) als Einrichtungen gedeutet werden, durch die eine Gewichtsvermehrung des Körpers erzielt wird, so ist dies von sekundärer Bedeutung, da die Ausbildung der bei Hemicidaris (so bei einer Art aus dem oberen Jura Niederösterreichs und Mährens) kegelförmigen und sehr massiven Stacheln offenbar derselben Funktion entspricht wie die analog geformten Stacheln von *Colobocentrotus atratus* Ag., einem an der peruanischen Küste lebenden Brandungsschnecke, der ebenso wie viele seiner Verwandten in dem schweren Stachelkleide einen brandungsfesten Panzer besitzt, der das Tier vor Schalenbruch besser schützt, als es das Gehäuse und ein aus schwachen und spitzen Stacheln bestehender Panzer zu tun vermöchte (vgl. *Doflein*, Tierbau u. Tierleben, II. Bd., S. 813; *O. Abel*, Lehrbuch der Paläozoologie 1920, S. 292). Die Doppelbepanzerung wirkt also hier als ein sehr wesentlicher Schutz gegen die zerstörenden Brandungswirkungen.

Eine Fülle wertvoller Einzelbeobachtungen hat der Verfasser in den Abschnitten: „Schale und Panzer als Schutzorgan“ und: „Schalenverzierungen, Stacheln und Faltungen“ zusammengetragen. Manches findet sich auch in diesen Abschnitten, worin sich vielleicht

mancher mit dem Verfasser nicht unbedingt einverstanden erklären wird. So ist dies der Fall mit dem „Herrschen einer Mode“ in der Formbildung zu einzelnen Zeiten“, wie *Dacqué* die Erscheinung nennt, daß in engeren oder weiteren Lebensräumen, ja auf der ganzen Erde oft dieselben Körperformen und dieselben Organe gebildet wurden oder in Einzelheiten der Schalenformen und Schalenplastiken scheinbar dieselbe Bauweise befolgt wird. Gerade auf diesen Gebieten ist für den Paläobiologen äußerste Vorsicht geboten. Dieselben Erscheinungen treten uns auch heute noch entgegen, und sie sind es, die in enger begrenzten oder weiten Lebensräumen zu einer oft ganz überraschenden Ähnlichkeit geführt haben. Denken wir nur z. B. an die sehr sonderbare Tatsache, daß uns in Nord- und Südamerika, und zwar nur in diesem Faunengebiet, in so vielen z. T. weit verwandten Gruppen der Schlangen immer wieder der durch die nordamerikanische Korallenotter (*Elaps corallinus* Wied) vertretene, wohlbekannte Typus der abwechselnd grellrot und schwarz geringelten Farbenzeichnung wiederkehrt. Da begegnen wir in Nordamerika verschiedene *Coronella*-Arten mit dieser Farbenanordnung, ferner Arten der Gattungen *Cemophora*, *Oscocela*, *Rhinochilus*; in Mittelamerika *Urotheca elapoides*, *Atractus elaps*, *Scolecophis*, *Homalocranium annulatum*; in Südamerika *Lystrophis semicinctus*, *Oxyrhopus trigeminus*, *Erythrolamprus Aesculapii*, *Simophis rhinostoma*, *Hydrops*, *Ilysia*, *Elaps corallinus* usw., und zwar finden sich unter diesen zahlreichen „Korallenschlangen“ sowohl giftige als ungiftige aus verschiedenen Gruppen, so daß die in solchen Fällen beliebte Ausflucht auf das Gebiet der „Mimikry“ hier versagt. Eben dieselbe merkwürdige Übereinstimmung zeigen aber auch z. B. die Käfer gewisser Gebiete, wie die der polynesischen Inselwelt, die sich schon auf den ersten Blick als Angehörige dieses Faunengebietes dem Kenner zu erweisen pflegen, und ich erinnere mich noch sehr gut des tiefen Eindruckes, den mir eine Äußerung von *G. A. Boulenger* machte, als er mir auf meine Frage, was für Schlangen es wohl sein mögen, die er auf dem Tische seines Arbeitszimmers im Britischen Museum in einem Glase stehen hatte, zur Antwort gab: „Ich weiß nicht, was für eine Art es ist, aber ich sehe aus ihrer Farbe, daß sie aus Madagaskar stammen muß.“ Jedem von uns ist die oft täuschende Ähnlichkeit der Kreuzotter mit der österreichischen Natter wohlbekannt; und diese Beispiele ließen sich sehr vermehren. Hierher gehört die merkwürdige Tatsache der häufigen Ausbildung der Fallschirmbildungen bei Tieren des indoaustralischen Faunengebietes und der Greifschwanzbildungen bei Angehörigen des südamerikanischen. Das aber sind keine „Moden“, sondern es liegen hier Erscheinungen vor, die einmal von *H. Gadow* treffend (P. Z. S. London, 1906, S. 298) mit den Einflüssen des „*Genius loci*“ in Verbindung gebracht worden sind, das heißt mit lokalen Ursachen, die wir zwar nicht kennen, aber deren Wirkungen wir beobachten können. Solche Erscheinungen sind auch zweifellos in der Welt der vorzeitlichen Tiere vorhanden. Vielfach werden die Ursachen solcher durch den „*Genius loci*“ bedingten Ähnlichkeiten in Farbe, Skulptur usw. auf gleichartige physikalische Ursachen, wie Wärmereize, chemische Einflüsse usw. zurückzuführen sein.

Die Besprechung derartiger Erscheinungen, wie es die Art der Stachelbildung bei silurischen, devonischen und späteren Gastropoden oder die Rippenzerteilung bei den Perisphincten des Weißjura ist, die *Dacqué*



(S. 651) bespricht, leitet bereits hinüber zu den Erscheinungen des Agglutinierens, des Maskierens, der Mimikry und der Färbung, denen der Verfasser ein eigenes Kapitel gewidmet hat. Gerade auf diesem unsicheren Boden der Biologie erscheint für den Paläobiologen größte Vorsicht am Platze, um nicht auf Irrwege zu geraten.

Von großem Werte sind die Mitteilungen und Zusammenstellungen des Verfassers in dem letzten Kapitel des speziellen Teiles: Regeneration, pathogene Schalen, Häutung, unter denen besonders die Regenerationen von Ammonitengehäusen Beachtung verdienen, weil sie auf die Art der Schalenbildung, zum mindesten der Skulpturbildung bei diesen Cephalopoden Licht zu werfen geeignet sind.

Den Abschluß des Werkes bildet ein *phylogenetischer Abschnitt*, der viele wertvolle Gesichtspunkte enthält und auch außerhalb des Kreises der Paläozoologen Beachtung finden wird. Wird man auch hier dem Verfasser nicht auf allen Wegen folgen können, so bedeuten doch seine Ausführungen auf diesem Gebiete eine wesentliche Förderung der paläobiologischen Forschungsziele. Die kritische Besprechung der verschiedenen Wege der „Stammbaumforschung“ führt den Verfasser zu dem Ergebnis, daß vor einer Überschätzung der Ergebnisse auf den meisten der bisher vorzugsweise begangenen Pfade zu warnen ist. „Ich sehe daher“, sagt *Dacqué*, „soweit ich überhaupt noch an die Bestimmung von Stammreihen glauben kann, in dieser (d. i. der paläobiologischen) Methode zurzeit den einzigen Weg für die Paläontologie, solche zu gewinnen, wenn nicht die Physiologie neue Gesichtspunkte hierfür entdeckt.“ (S. 737.) „Nur blutleere Vorstellungsbilder“, sagt der Verfasser weiter (S. 739), „erlauben der Deszendenztheorie alten Stiles immer wieder, die Paläontologie zu beherrschen, deren Material exakterweise und klar eine ganz andere Stellungnahme zu dem Entwicklungsproblem erfordert.“

Alles in allem ist in dem vorliegenden Werke nicht nur eine außerordentlich große Menge von Tatsachen mit sichtlich auf viele Jahre ausgedehnter emsiger Bemühung zusammengetragen worden, sondern der Verfasser war auch ernstlich bestrebt, sich mit den zahllosen aus diesen Tatsachen auftauchenden Problemen auf dem Gebiete der Paläobiologie der Evertibraten auseinanderzusetzen, so gut es bei dem derzeitigen Stande unserer Kenntnisse und Anschauungen gelingen konnte. Hierfür müssen wir ihm zum Danke verpflichtet sein, ebenso wie der Verlagshandlung, die auf dem Gebiete der Illustration den Wünschen des Verfassers so weit als möglich entgegengekommen ist, so daß auch in dieser Hinsicht ein Buch zustande kam, das die weiteste Verbreitung in allen Kreisen verdient, für die die Reste der fossilen Tiere doch etwas mehr bedeuten als „Denkmünzen der Schöpfung“ oder ein bloßes Haufwerk zerbrochener Scherben, die „keinen Anspruch darauf erheben können, als biologische Dokumente von irgendwelcher Bedeutung“ gewertet zu werden.

O. Abel, Wien.

**Planck, Max, Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung.** Vierte, abermals umgearbeitete Auflage. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1921. X, 224 S. 23 × 15½. Preis geh. M. 36,—; geb. M. 44,—.

In dem seit Erscheinen der letzten Auflage verstrichenen Zeitraum hat die Quantentheorie eine in mehrfacher Beziehung bedeutungsvolle Entwicklung erfahren. Während ihre Anwendung auf die Thermodynamik materieller Körper, speziell auf die spezifische

Wärme durch *A. Einstein*, *M. Born* und *Th. v. Kármán*, *P. Debye*, auf die Nernstsche chemische Konstante durch *O. Sackur*, *O. Stern*, *H. Tetrode*, neue fruchtbare Resultate zeitigte, ist die Hypothese des elementaren Wirkungsquantums durch direkte Erfahrungstatsachen, wie namentlich durch die Messungen der Ionisierungs- bzw. Resonanzspannungen von *J. Franck* und *G. Hertz* im sichtbaren Spektrum, von *D. L. Webster*, *E. Wagner* u. a. im Röntgenspektrum sowie durch die Untersuchungen über den Photoeffekt von *R. A. Millikan* auf eine Grundlage gestellt worden, die an Festigkeit kaum etwas zu wünschen übrig läßt. Auf der anderen Seite hat sich, dank den von *A. Einstein* und von *N. Bohr* mit dem größten Erfolg eingeführten spezielleren Vorstellungen, das Schwergewicht der Anwendungen der Quantentheorie von der Thermodynamik mehr nach der Elektronentheorie hin verschoben, und während früher das Gebiet der stationären Temperaturstrahlung als die eigentliche Domäne der Wirkungsquanten anzusehen war, machen dieselben gegenwärtig weit darüber hinaus bis tief in die feinsten Einzelheiten der inneratomistischen Vorgänge ihren Einfluß geltend.

Aus diesem Grunde kann in dem vorliegenden Buch, wenn es seinen ursprünglichen Charakter bewahren und nicht zu einem unverhältnismäßig starken Umfang anschwellen soll, unmöglich auf die ganze Weiterentwicklung der Quantentheorie eingegangen werden, um so weniger, als auch der Theorie der Wärmestrahlung in der Zwischenzeit eine merklich verfeinerte Ausbildung zuteil geworden ist. Freilich von einer wirklich abschließenden Darstellung kann auch heute noch nicht die Rede sein. Stehen sich doch immer noch die beiden Anschauungen unvermittelt gegenüber, die sich dadurch unterscheiden, daß die eine für die Ausbreitung der Lichtenergie im leeren Raum eine „glatte“, die andere eine „fleckige“ Wellenfront voraussetzt. Um beiden Auffassungen Rechnung zu tragen, bleibt dem Theoretiker einstweilen nichts anderes übrig, als eine jede von ihnen gesondert weiterzubilden und dadurch den Boden für eine dereinstige experimentelle Entscheidung nach Möglichkeit vorzubereiten. Glücklicherweise gibt es weite Gebiete, sowohl bei der strahlenden als auch bei der Körperwärme, die von dem genannten Gegensatz nicht berührt werden; diesen habe ich in meiner Darstellung naturgemäß besondere Aufmerksamkeit zugewendet und daher u. a. auch die Ableitung der Debyeschen Zustandsgleichung fester Körper und der Nernstschen chemischen Konstanten mit aufgenommen.

Um trotz der eingeführten neuen Abschnitte die Seitenzahl nicht übermäßig zu vermehren, habe ich mich entschlossen, aus der alten Auflage alles einigermaßen Entbehrliche fortzulassen, so z. B. die Schilderung des auf das Wirkungsquantum, die Lichtgeschwindigkeit und die Gravitationskonstante gegründeten Systems natürlicher Maßeinheiten, sowie den ganzen Abschnitt über irreversible Strahlungsvorgänge. Es dürfte nicht schwer sein, denselben unter Beibehaltung des ganzen Gedankenganges auch der neuen Darstellung anzupassen.

(Vorwort.)

**Kohlrausch, Friedrich, Lehrbuch der praktischen Physik.** 13. stark vermehrte Auflage. Leipzig, B. G. Teubner, 1921. XXVIII, 724 S. und 353 Figuren. 14 × 22. Preis geh. M. 30,—; geb. M. 34,— + Teuerungszuschlag.

Das Lehrbuch hat einen Umfang erreicht, der nicht allein wegen der heute gebotenen Sparsamkeit an Satz und Papier, sondern auch im Interesse des handlichen



Gebrauches möglichste Beschränkung erheischt. Dabei wächst der Stoff immer mehr an, und es gilt, auch für die neuen Errungenschaften der praktischen Physik Platz zu schaffen. Die Bearbeiter haben sich deshalb entschlossen, neben veralteten physikalischen Methoden die geographischen Bestimmungen auszuschneiden. Ferner ließen sich ohne eine wesentliche Änderung der Darstellung durch eine straffe Zusammenziehung verwandter Aufgaben, die bei dem allmählichen Anwachsen des Stoffes getrennt behandelt wurden, Kürzungen erreichen, die Raum für neue Zusätze freimachten. Diese verteilen sich entsprechend dem Fortschritt der physikalischen Meßkunde über das ganze Buch. Eine größere Umarbeitung erfuhren dabei u. a. einzelne Kapitel über die Druckmessung, die Thermometrie, Kalorimetrie und Strahlungsmessung; ferner namentlich die Abschnitte über Wechselströme, Röntgenstrahlen, elektrische Schwingungen, die Messung an ionisierten Gasen und die Radioaktivität. Auch die Tabellen wurden unter Weglassung der astronomischen Daten nach verschiedenen Richtungen ergänzt und vermehrt.

(Vorwort.)

**Grimsehl, E., Lehrbuch der Physik. 2. Band: Elektrizität und Magnetismus. 4. Auflage.** Herausgegeben von Dr. W. Hillers unter Mitwirkung von Dr. H. Starke (Aachen). Leipzig, B. G. Teubner, 1920. VIII, 634 S. und 548 Abbildungen. Preis geh. M. 22,—; geb. M. 26,— + Teuerungszuschlag.

Die schon bei der Besprechung des ersten Bandes (Naturwissensch. 1920, S. 634) erwähnte Eigenart der Darstellung tritt auch in dem vorliegenden zweiten Bande wieder deutlich hervor. Es erfahren die Fundamentalversuche an Hand zahlreicher sehr guter Bilder und Zeichnungen eine eingehende Beschreibung; im Anschluß an diese werden die ihnen zugrunde liegenden Gesetze entwickelt und diese werden dann vielfach noch durch weitere Versuche genau erläutert. Fast alle wichtigen technischen Apparate und Meßinstrumente, deren Anwendung auf den geschilderten Prinzipien beruht, werden ebenfalls mit Hilfe vieler Abbildungen und Figuren in ihrer Wirkungsweise geschildert. Die Breite, mit der einige Versuche und manche Apparate der Technik dargestellt sind, bewirkt, daß gewisse andere interessante Einzelheiten der physikalischen Lehre nur kurz gestreift werden konnten.

Bei der mathematischen Behandlung des Stoffes sind wieder schwierige Formeln vermieden worden. Die wichtigsten Gesetze werden in möglichst einfacher Weise hergeleitet; dabei wird von der Infinitesimalrechnung nur verhältnismäßig wenig Gebrauch gemacht.

Diese Art der Darstellung läßt das Buch für den jungen Studenten besonders geeignet erscheinen. Die vielen ausgezeichneten Bilder und Figuren werden ihm dabei das Studium wesentlich erleichtern. Darüber hinaus gewinnt auch dieser Band an Bedeutung durch die weitgehende Berücksichtigung, die die praktischen Anwendungen der Physik hier gefunden haben. Es gibt wohl kaum ein allgemeines Lehrbuch der Physik, das eine so vielseitige Darstellung der physikalisch-technischen Errungenschaften in Wort und Bild bietet.

Aus den zahlreichen erwähnenswerten Kapiteln möchte ich nur zwei als Beispiele hervorheben, das Kapitel über „die experimentellen Untersuchungen am Nebenschlußmotor“ und das Kapitel über „den selbsttönenden Flammenbogen“.

Von den zwölf Abschnitten des Buches behandeln

die ersten acht die klassische Elektrizitätslehre und den Magnetismus. Im neunten Abschnitt sind dann unter dem Titel „Elektrische Entladungen“ die Erscheinungen der Gas- und der Hochvakuum-entladung, die Radioaktivität, die Röntgenstrahlen, die Röntgenspektroskopie und sogar das Bohrsche Atommodell zusammengefaßt. Ich möchte glauben, daß bei diesen Gebieten, die doch gerade in letzter Zeit besondere Bedeutung gewonnen haben, eine etwas eingehendere Darstellung in getrennten Abschnitten am Platze gewesen wäre.

In den weiteren Abschnitten werden noch die Luftelektrizität und die elektrischen Schwingungen mit ihrer Anwendung in der drahtlosen Telegraphie behandelt.

Zum Schluß möchte ich noch darauf hinweisen, daß die wichtigsten Lebensdaten der berühmteren Physiker in Fußnoten mitgeteilt werden. Diese Anmerkungen werden besonders für den Anfänger von großem Nutzen und Interesse sein.

Zu meiner Freude entnehme ich aus einer dieser Anmerkungen, daß der Herausgeber Herrn Einstein bereits im voraus den Nobelpreis verliehen hat.

H. Kallmann, Berlin-Westend.

**Grimsehl, E., Lehrbuch der Physik. 1. Bd. Mechanik, Wärmelehre, Akustik und Optik. 5. vermehrte und verbesserte Auflage.** Leipzig, B. G. Teubner, 1921. XVI, 1029 S., 1049 Abbild. und 2 Tafeln. 23 × 15½. Preis geh. M. 32,—; geb. M. 38,—.

Im ganzen hat die vorliegende Auflage des I. Bandes gegenüber der vorigen nur wenige Änderungen und Vermehrungen erfahren. Letztere hatten sich zum Teile als wünschenswert erwiesen, um den Aufbau des Lehrbuches in sich geschlossener zu gestalten. Es sei auf die §§ 36, 42, 53, 59, 154, 211, 212, 268, 269, 304, 362 verwiesen. Auch eine leichte Vermehrung der Worterklärungen und der historischen Anmerkungen hat stattgefunden. — Die Zahl der Anordnung der einzelnen Paragraphen ist unverändert geblieben; ebenso ist die Anzahl der Abbildungen die gleiche wie früher; allerdings wurden einige Figuren durch neue ersetzt. Eine geringe Vermehrung des Umfanges des Bandes ist teils durch die erwähnten Einschreibungen bedingt, teils aber durch einen etwas übersichtlicheren Druck des mathematischen Satzes verursacht, wie er von einigen Seiten gewünscht worden war. Von Freunden des Buches liefen sowohl aus dem Inlande als auch aus dem Auslande mehrfach Ratschläge ein, wie gewisse Unebenheiten der Darstellung vermieden werden könnten, die ihnen bei der Durcharbeitung des Buches aufgefallen waren. Ihnen allen sei für die bezeugte Anteilnahme auch an dieser Stelle herzlich gedankt. Die freundschaftlichen Ratschläge wurden berücksichtigt, soweit ihre Berechtigung anerkannt werden konnte. — Die Änderungswünsche, die sich in den wenigen der bisher veröffentlichten Besprechungen der 4. Auflage befinden, konnten noch keine Berücksichtigung finden, weil diese so unerwartet rasch vergriffen war, daß die Herausgabe der neuen Auflage schon abgeschlossen war, ehe die Besprechungen bekannt wurden. — Herr Dr. Erich Boehm hatte wiederum die Liebenswürdigkeit, mich beim Lesen der Korrekturen zu unterstützen; ihm sei dafür hier der herzlichste Dank ausgesprochen.

(Vorwort von Wilhelm Hillers.)

**Graphische Papiere und ihre vielseitige Anwendung** zum Gebrauch beim Unterricht, bei akademischen Vorlesungen und zum Selbststudium, zu technischen und wissenschaftlichen Arbeiten aller Art. Mit leichtfaßlichen Anleitungen zusammengestellt von



W. Grosse. Düren, Carl Schleicher & Schüll. Gr. 80. IX, 179 S. und 174 Fig. Preis M. 15,—.

Der Verfasser hat in dem 1917 geschriebenen Vorwort zu diesem 1919 erschienenen Buche mit Recht bemerkt: „In Schule und Haus, in Krankenhäusern, Fabriken und technischen Betrieben, bei Behörden aller Art und statistischen Ämtern sind graphische Darstellungen wertvoll, um gewisse Zusammenhänge überhaupt zu ermitteln oder genauer zu verfolgen.“ Das Buch gibt zunächst in einer auch für Laien verständlichen Form eine Einführung in die graphische Darstellung; der Hauptteil des Buches („Spezialpapiere“, von S. 65 an) gibt Anhaltspunkte dafür, welche der sehr bequemen graphischen Papiere der Firma Schleicher & Schüll für bestimmte Fälle verwendet werden sollen. Leistet häufig schon das Millimeterpapier gute Dienste, so werden Koordinatenpapiere, in denen entweder eine der Koordinatenrichtungen allein oder beide Koordinatenachsen geeignet geteilt sind (also statt in der Einheit der darzustellenden Größe als geeignete „Funktionsskala“), das Mittel bilden, um den Zusammenhang zwischen zwei Größen durch eine Gerade, wenigstens in einem bestimmten Bereich, darzustellen. Als Beispiel sei hier nur die „Streckung der Parabeln auf doppeltem Logarithmenpapier“, S. 73, genannt, in dem die Parabeln  $y = x^3$ ,  $y = x^3$  usw.  $y = x^{3/2}$ ,  $x^{1/2}$  usw.,  $y = \frac{1}{\sqrt{x}}$ ,  $y = \frac{1}{x^4}$  zu geraden Linien geworden sind, weil der Zusammenhang zwischen  $\log y$  und  $\log x$  (aus  $y = x^n$ , wo  $n$  eine beliebige positive oder negative Zahl bedeutet, folgt  $\log y = n \log x$ ) durch eine gerade Linie dargestellt wird.

In der Einleitung (S. 4—19) werden Beispiele aus der Meteorologie, der Physik, der Mathematik, der Technik zu einführenden Erläuterungen der graphischen Darstellung benutzt. Dann werden behandelt: die gerade Linie (S. 20—23, beispielsweise Umwandlung von Celsiusgraden in Réaumur, graphische Fahrpläne), die Parabeln (S. 23—32 mit praktischen Beispielen aus der Statistik), gebrochene und unentwickelte Funktionen (S. 33—40, mit Beispielen aus der analytischen Geometrie, der Photometrie, der Meteorologie, dem Bankwesen und der Messung des elektrischen Widerstandes), transzendente Funktionen (S. 41—48, Exponentialfunktion, Logarithmus, Sinusfunktion usw. mit dem Hinweis auf die praktische Wichtigkeit der Exponential- bzw. Logarithmusfunktion), die Ableitungsfunktionen (S. 49—62, Steigung  $y'$  einer Kurve  $y$ , näherungsweise Ermittlung durch Differenzenbildung, die verschiedenen Ableitungsfunktionen [Differentialquotienten], Integralkurven und Flächenberechnung, Wendepunkt, Hinweis auf die Darstellung einer beliebig gestalteten periodischen [Wellen-] Bewegung als Summe von Sinusschwingungen S. 60, zugehörige Figur S. 46).

Der Hauptteil „Spezialpapiere“ beginnt mit den Logarithmenpapieren (S. 63—85), die in Deutschland zuerst durch Schleicher & Schüll hergestellt worden sind. In diesen Logarithmenpapieren ist mindestens für die eine der Koordinaten nicht die Maßzahl selbst, sondern ihr Logarithmus (zur Basis 10) aufgetragen. Je nachdem, ob die logarithmische Teilung von 1 bis 10 (kann ebenso 0,1 bis 1 oder auch 0,01 bis 0,1 usw. bedeuten) einmal oder mehrmals hintereinander, immer wieder mit 1 beginnend, vorkommt, spricht man von einstufigem oder mehrstufigem Logarithmenpapier. Die Unterscheidung zwischen Einfach-Logarithmenpapier und Doppelt-Logarithmenpapier gründet sich darauf,

daß bei dem ersten nur die eine Koordinate logarithmisch geteilt ist im Gegensatz zum zweiten, dessen beide Koordinaten logarithmisch geteilt sind. In dem eingangs genannten Beispiel der Parabeln (S. 73) ist Doppelt-Logarithmenpapier angewandt worden, und zwar dreistufig für die Abszissen und zweistufig für die Ordinaten. Von den Beispielen für die Anwendung des Einfach-Logarithmenpapiers seien genannt die Bevölkerungskurven (Jahre in mm-Teilung als Abszissen, Logarithmus der Bevölkerungszahl als Ordinate, S. 80 und 110 unten), die Lichtdurchlässigkeit für ein absorbierendes Mittel (S. 81, Schichtdicke in mm-Teilung als Abszisse, Logarithmus der Durchlässigkeit als Ordinate). Aus den Beispielen für die Benutzung von Doppelt-Logarithmenpapier verdienen Erwähnung die Darstellung der Wasserförderung (bei gegebenem Rohrdurchmesser) vom Druckabfall (S. 82), die Zustandsgleichung der Gase (S. 83, dort noch andere Beispiele), das Wiensche Verschiebungsgesetz (S. 110 oben).

Der Abschnitt S. 86—124 bringt zahlreiche Beispiele für normale (d. h. Millimeter-) Papiere und für logarithmisch geteilte Papiere aus der Meteorologie, der Mechanik, der Wärme, der Licht-, der Elektrotechnik, der Versicherungsmathematik (S. 103) und der Astronomie (S. 121—124). Auch schießtechnische Anwendungen (S. 88 unten, 96, 109, 111) sind als Beispiele herangezogen worden. Unter anderen ist die graphische Summierung von  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c}$  (S. 89, 92, 120—121) behandelt worden, die sowohl für die Optik als für die Elektrotechnik von Bedeutung ist.

Besonders zu beachten sind die Erklärungen auf S. 65, 71 und die praktischen Winke auf S. 118—121, 151—153.

Auf S. 125—140 und 164—167 sind die Polarkoordinaten- oder Kreispapiere und ihre Anwendungen behandelt. Wir nennen daraus nur die archimedische, die logarithmische und die hyperbolische Spirale, die Kegelschnitte, die Anwendungen in der Lichttechnik (S. 94—95, 140).

Die Dreieckspapiere (S. 141—142, 158, 172) sind am Platze bei der graphischen Darstellung für Gemische aus drei Stoffen oder aus drei Farben.

Die Sinuspapiere (S. 142—149) kommen für die Darstellung von periodischen Vorgängen, die in der Meteorologie, in der Technik und in der Astronomie sehr häufig vorkommen, in Betracht.

Ein besonderer Abschnitt (S. 149—151) ist den Dispersionspapieren nach J. Hartmann gewidmet.

Auf S. 162—174 ist noch auf einige besondere Papiere hingewiesen worden, so auf Papiere für Tages-, Monats- und Jahresübersichten (S. 162—164).

In einer Literaturübersicht (S. 154—164) wird über Arbeiten von A. Schreiber, O. Weißhaar, N. A. Halbertsma, P. Luckey, L. Isakow, P. Schreiber, H. Kraus, Tetens, M. Grosse, Teichmüller, C. Kaßner und Paul Hirsch berichtet. Zu wünschen wäre hier noch, daß der Verfasser bei einer Neuauflage des Buches die im Text und im Vorwort genannten Veröffentlichungen ebenfalls in dieser zusammenfassenden Übersicht anführt.

Übersichten der Bilder (S. 175—179) nach Seitenzahl und nach Fachgruppen erleichtern die Benutzung des Buches. Hoffentlich entschließt sich der Verfasser später dazu, in der letzten Übersicht die Gruppe Physik und Technik noch weiter zu gliedern.

Wir schließen mit dem Wunsche, daß das Buch recht viele aufmerksame Leser finden möge. Sagt doch

Große (S. 164) mit Recht: „Wer graphische Darstellungen zu lesen versteht, weiß, daß sie Gedächtnis und Denken ganz außerordentlich zu entlasten vermögen. Sie geben in Viertelstunden, was uns Bücher und Akten beim Durcharbeiten in Tagen geben.“

H. Erfle, Jena.

Strasburger, E., Das botanische Praktikum. 6. Aufl., bearb. von M. Koernicke. Jena, Gustav Fischer, 1921. XVI, 873 S. und 250 Textabb. Preis geh. M. 120,—; geb. M. 135,—.

Das Strasburgersche Botanische Praktikum erscheint zum zweiten Male seit dem Tode seines Begründers in neuer Auflage, ein Beweis dafür, daß auch der neue Herausgeber es verstanden hat, dem Buche seine Vorzüge zu erhalten und es den modernen Bedürfnissen anzupassen. Die Anordnung des Stoffes ist unverändert geblieben. Im einzelnen zeigt sich aber überall, daß das Buch einer genauen Durchsicht unterzogen worden ist. Die Literaturangaben sind soweit als möglich ergänzt. Es ist von jeher ein Vorzug des Buches gewesen, daß die mikroskopische Technik eine sehr ausführliche Berücksichtigung erfahren hat. In der Tat wird man in dieser Hinsicht über alle einschlägigen Fragen ausführlich und zuverlässig beraten. Ein besonderes Register ist diesem Gebiete gewidmet und erleichtert die Orientierung. Reichlich die Hälfte des Buches wird von der Anatomie der Gefäßpflanzen eingenommen. Dann folgen einige Kapitel über den vegetativen Aufbau der Moose, Algen und Pilze, schließlich eine größere Reihe von Abschnitten, die die Fortpflanzung der niederen und höheren Pflanzen behandeln. Vielleicht ließe sich dadurch, daß Vegetations- und Fortpflanzungsorgane der Moose, Algen und Pilze jeweils zusammen im gleichen Kapitel behandelt würden, etwas Raum gewinnen, der sich für eine etwas ausführlichere Behandlung einiger Gruppen niederer Pflanzen nutzbar machen ließe. So möchte Referent eine etwas eingehendere Besprechung der Braunalgen und namentlich der Rotalgen, die gar zu knapp weggekommen sind, befürworten (Batrachospermum oder Nematium sollten doch nicht fehlen). Unter den Pilzen würde eine genaue Beschreibung von Saprolegnia oder Achlya, von Cystopus und dem so genau untersuchten Pyronema dem Buche zugute kommen. Als kleine, rein äußerliche Änderung, die die Benutzung des Buches erleichtern würde, möchte Referent vorschlagen, an Stelle der Abschnittnummern am Kopfe einer jeden Seite den Inhalt des betr. Abschnittes mit ganz kurzen Stichworten anzugeben. — Diese Bemerkungen sollen jedoch in keiner Weise das günstige Urteil über das Buch beeinträchtigen. Es gibt in der Tat wenige Wissenschaften, die über eine so ausgezeichnete methodische Einführung verfügen, wie sie in Strasburgers Praktikum vorliegt. — Die Ausstattung des Buches unterscheidet sich in keiner Weise von derjenigen der vor dem Kriege erschienenen 5. Auflage. Das Illustrationsmaterial ist um drei farbige Textbilder vermehrt worden. Bei dem großen Umfange des Werkes darf der Preis (120 M.) als ein unter den gegenwärtigen Umständen sehr mäßiger bezeichnet werden.

H. Kniep, Würzburg.

Strasburger, E., Das kleine Botanische Praktikum für Anfänger. 9. Aufl., bearb. von M. Koernicke. Jena, Gustav Fischer, 1921. X, 272 S., 188 Holzschnitte und 3 farbige Textbilder. Preis geh. M. 40,—; geb. M. 50,—.

Über den „Kleinen Strasburger“ läßt sich im allgemeinen dasselbe sagen wie über seinen „großen

Bruder“ (siehe obiges Referat). Während letzterer dem angehenden Botaniker als Einführung in seine Wissenschaft dienen soll, wendet sich das vorliegende Buch an diejenigen, die sich mit Botanik als Nebenfach zu beschäftigen haben, oder die als Autodidakten eine Grundlage für die Handhabung des Mikroskops und die mikroskopische Untersuchung gewinnen wollen. Die Einteilung entspricht ganz der in der großen Ausgabe. Zum größten Teil ist der Text wörtlich herübergenommen, natürlich unter sehr starken Kürzungen. So ist vor allem die Einleitung sehr stark zusammengestrichen, da die vielen komplizierten Hilfsmittel, die dort in der großen Ausgabe ausführlich beschrieben sind, für den Anfänger entbehrlich sind. Es fehlen auch zum allergrößten Teile die zahlreichen speziellen Erörterungen mikroskopisch-technischer Art, die im großen Praktikum einen breiten Raum einnehmen. — Die Zahl und schnelle Folge der Auflagen zeigt, daß auch dieses Buch sich bewährt hat. Es wird gewiß auch weiterhin dazu beitragen, der Naturwissenschaft neue Jünger zu gewinnen.

H. Kniep, Würzburg.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen

### Wie kommt es, daß die Erde zum überwiegenden Teil aus Eisen besteht?

Diese Zeilen bilden einen Versuch, eine Erklärung dafür zu finden, daß die Erde zum überwiegenden Teil aus Eisen besteht. Stellt man sich auf den Boden der Kant-Laplaceschen Theorie, so ist die Erde entstanden aus Sonnenmaterie, welche sich vor der Ablösung der Erde von der Sonne in deren äußersten Schichten befand. Ist diese Voraussetzung zutreffend, so folgt mit zwingender Notwendigkeit (da spätere radioaktive Umwandlungen nicht in Frage kommen), daß die äußere Hülle der Sonne zu jener Zeit im wesentlichen aus Eisen bestanden haben muß. Auf der Suche nach einer Erklärung dafür liegt es nun nahe, zu vermuten, daß in jener Epoche das Eisen in der Sonnenatmosphäre die gleiche Rolle gespielt hat wie heute das Calcium, welches ja, ungeachtet seines Atomgewichts, in der Sonnenatmosphäre weitaus die größte Höhe — bis zu 14 000 km — von allen Elementen erreicht. Hierfür hat Megh Nad Saha die Erklärung gegeben, daß die Calciumatome durch den Druck der Sonnenstrahlung besonders stark beeinflusst würden, da die Resonanzwellenlänge des (ionisierten) Calciums dem Energiemaximum der Sonnenstrahlung sehr nahe benachbart ist. Auch die Eisenlinien werden in der Sonnenatmosphäre noch in auffallend großen Höhen beobachtet, und man muß daher auf Grund der Theorie Sahas vermuten, daß auch jetzt noch die Eisenatome einen relativ sehr großen Strahlungsdruck erfahren. Wahrscheinlich ist eine gar nicht sehr erhebliche Änderung der Sonnentemperatur notwendig, damit an Stelle des Calciums das Eisen die größten Höhen in der Sonnenatmosphäre erreicht. Hierzu dürfte der Spielraum bis zu 9000° — der höchsten Temperatur, die die Sonne nach Eddington je gehabt haben kann — wohl mehr als ausreichend sein. Es ist also die Richtigkeit der oben ausgesprochenen Vermutung jedenfalls nicht ohne weiteres von der Hand zu weisen.

Berlin, den 7. Februar 1922.

W. Westphal.



## Die Möglichkeit einer Prüfung des Satzes von der Gleichheit der trägen und der schweren Masse auf astronomischer Grundlage.

Bekanntlich ist der Satz von der Gleichheit bzw. Äquivalenz der trägen und der schweren Masse die unmittelbare Folge aus der der allgemeinen Relativitätstheorie zugrunde liegenden „Äquivalenzhypothese“. Für die Richtigkeit dieses Satzes werden, soweit ich sehe, zwei Arten von experimentellen Beweisen angeführt. Einmal der — allerdings nur sehr wenig genau nachprüfbare — gleich schnelle Fall aller Körper im Schwerfeld an der Erdoberfläche, dann die außerordentlich genauen Pendelversuche von Eötvös. Mir scheint, daß eine dritte Klasse von Erscheinungen niemals zu einer möglichst exakten Nachprüfung herangezogen worden ist, nämlich die Planeten- und Mondbewegungen.

Nehmen wir einmal an, das Verhältnis  $\alpha$  der trägen zur schweren Masse sei keine universelle Konstante, sondern von der physikalischen und chemischen Natur der Körper abhängig, so müßte das 3. Keplersche Gesetz folgendermaßen lauten:

„Die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten verhalten sich, wie die mit dem Verhältnis der trägen zur schweren Masse multiplizierten Kuben der großen Halbachsen der Planetenbahnen“:

$$\frac{\tau_1^2}{\tau_2^2} = \frac{\alpha_1 a_1^3}{\alpha_2 a_2^3}$$

Da die physikalische und chemische Beschaffenheit der äußeren und inneren Planeten jedenfalls sehr verschieden ist, so wäre es wohl denkbar, daß sich Verschiedenheiten in dem Verhältnis der beiden Massen durch Abweichungen von dem — in der üblichen Form ausgesprochenen — 3. Keplerschen Gesetz bemerkbar machen könnten.

Auch bei den Mondbewegungen müßten sich etwaige Verschiedenheiten der Massenverhältnisse bemerkbar machen, z. B. bei der Bewegung des Erdmondes, dessen physikalische und chemische Beschaffenheit zweifellos von der der Erde wesentlich unterschieden ist. Nehmen wir z. B. an, daß das Massenverhältnis  $\alpha$  bei der Erde größer ist als beim Monde, und daß die Erde keine Anziehung auf den Mond ausübte, so wäre die Umlaufzeit der Erde um die Sonne größer als die des Mondes. Es hätte also der Mond eine Tendenz, der Erde vorauszuweichen. In welcher Weise sich diese Tendenz bei der Mondbewegung in Wirklichkeit äußern würde, kann ohne Rechnung nicht übersehen werden.

Es wäre sehr zu begrüßen, wenn diese Anregung zu einer Prüfung dieser physikalisch so außerordentlich wichtigen Frage von zuständiger astronomischer Seite führen würde.

Berlin, den 7. Februar 1922.

W. Westphal.

## Geographische Mitteilungen.

Die geographische Bedingtheit der Erscheinungen des menschlichen Lebens in Nordafrika. (E. F. Gautier, *Nomad and sedentary folks of Northern Africa*, the Geographical Review 11, 3—15, 1921.) In der algerischen Sahara herrschen zwei Landschaftstypen vor, das Netzwerk großer, in der Quartärzeit erodierter Täler (*Wadis*) und die durch Auswehung aus ihnen entstandenen Dünenfelder (*Erg*). Mit spärlicher Vegetation bedeckt, sind beide zur nomadischen Viehwirtschaft geeignet. Dauersiedlung ist nur möglich

an Stätten, wo das artesische Grundwasser erschlossen und in Kanäle verteilt, zur Bodenbenetzung verwendet wird, in den Oasen. Da die Verschiedenheit der Weidegründe — steiniger Boden, weicher Sand — die weidenden Kamele zu verschiedener Anpassung nötigt, derart, daß sie an den einen gewöhnt, den anderen meiden, hat sich eine Teilung der Weidegebiete vollzogen: In den Erg herrschen die arabischen, von der mittelmeerländischen Kultur berührten *Schambas*, in den küstenferneren Wadis die rein berberischen, wenig von außen beeinflussten *Tuareg*. Die Bewohner der Oasen, arabisch *Haratin* genannt, d. h. ursprünglich etwa „Bauer“, gegenwärtig aber in „Mulatten“ umgedeutet, stellen den im Daseinskampf minder erfolgreichen, von den Weiden verdrängten oder ihrer Herden beraubten Bevölkerungsbestandteil vor. Lag schon in der Tatsache der Seßhaftigkeit eine Benachteiligung der Haratin, so wurde ihre Unterlegenheit gegenüber den Nomaden mit der Zeit immer größer, weil das städtische Leben in den überdies der Malaria ausgesetzten Oasen weniger förderlich und stählend ist als das unseßhafte der Nomaden mit seinen Anforderungen an Widerstandsfähigkeit, Mäßigkeit und steter Kampfbereitschaft. Physisch verrät sich dieser Unterschied in dunklerer Hautfarbe der Haratin, die auf die helleren Typen ausmerzende Malaria zurückgeführt wird, bei der aber wohl auch Blutmischung (Neger) mit im Spiele ist, in politischer Hinsicht, in der Herrschaft der Nomaden über die Oasenbewohner, die ihm Tribut zahlen müssen, seine Hörigen sind, wenige seßhafte Stämme ausgenommen, wie die M'zabiten und Kabylen, die zäh ihre Unabhängigkeit verteidigen. Die starken Befestigungen der Oasen richten sich demgemäß nicht gegen die Nomaden, sondern gegen wettbewerbbende Nachbaroasen. Zu Feindseligkeiten gegen die festen Niederlassungen haben die schweifenden Hirtenstämme um so weniger Anlaß, als sich beide zu einer wirtschaftlichen Einheit zusammenschließen, jene liefern diesen den Bedarf an Anbauerzeugnissen, Hirse, Weizen, Datteln im Austausch gegen die Produkte der Weberei und Gerberei und die Waren ferner Erzeugungsstätten. Ferner ist die Oase dem einsamen Wüstenbewohner eine Stätte vorübergehender Anregung und Zerstreuung, ähnlich wie die Hafenstadt dem Seemann. Dem gegenseitigen Verhältnisse entspricht es, daß der Nomade sehr selbstbewußt und stolz ist und die seßhaften Siedler als verachtete Klasse betrachtet.

In der östlichen Fortsetzung der algerischen Sahara, in der lybischen Wüste, herrscht die äolische Abtragung gegenüber der Erosion vor. Statt der Wadis treten von Zeugenbergen besetzte steinige Rumpfflächen auf, denen gewaltige, undurchdringliche Ergmassen entsprechen. An großen Wiesenflächen ist Mangel, während umgekehrt im Niltale und in den großen Senken (Baharia, Farafra, Siwa usw.) vorzügliche Grundlagen für die Oasensiedlung gegeben sind. Hier hat sich infolgedessen die seßhafte Bevölkerung zu hoher Macht erhoben, während die schweifende in Schranken gehalten wurde. War im Westen die Oasenkultur bescheiden geblieben, so hat sie sich hier im Ägypterreich schon frühzeitig zu höchster Blüte erhoben. Üben dort die Nomaden weitreichenden Einfluß aus — Tuaregvölker drangen nach Spanien und Frankreich ein, Schambas herrschten in Fez und Tlemcen —, so nimmt hier der nomadische „Beduine“ als Führer und Begleiter von Karawanen u. dgl. eine dienende, nicht sonderlich geachtete Stellung ein. Wenig kriegerisch, fand er auch

im Weltkriege keine Verwendung, während die algerischen Nomaden mehrere Hunderttausend Soldaten stellten!

**Bevölkerungspolitik unter den Eingeborenen Afrikas.** (*An overpopulated island*; The Geographical Review 9, 186, 1920.) Ein bemerkenswertes und lehrreiches Beispiel zielbewußter Bevölkerungspolitik bei Naturvölkern bietet die im südöstlichen, ehemals deutschen Teile des Viktoriasees gelegene Insel Bukara. Sie beherbergt auf einer Fläche von 57 km<sup>2</sup> 19 000 Menschen, weist also die beträchtliche Bevölkerungsdichte von 333 auf 1 km<sup>2</sup> auf, und diese Zahl erfährt noch eine Steigerung ihrer Bedeutung durch die verhältnismäßige Ausdehnung steinigten Ödlandes und die Minderung des Bodenertrages durch Äckerverwüstende Regengüsse. Da einer Abwanderung nach der benachbarten Küste bisher offenbar der Widerstand der dort ansässigen Stämme hinderlich war, waren die Inselleute zur Lösung eines Problems gezwungen, wie es in der Regel nur Kulturvölkern gegenübertritt. Sie bewältigten es in erster Linie durch äußerste Ökonomie der Nahrungsfläche, nämlich durch Ausnützung jedes ertragreichen Bodenflekkchens wie durch Schutzbauten gegen die Abspülung. Ferner durch zweckmäßige Aufteilung des Nutzlandes nach Absonderung gemeinsamen Weidelandes und durch eine strenge Grenzordnung. Nächst dem erstrebte man möglichstste Steigerung der Erträge durch sorgsame Düngung des Bodens und intensive Wirtschaft. Nichts wird verschwendet, alles ausgenutzt, selbst das gefallene Laub der oft einzeln verpachteten und vom Familienvater teilweise unter die Söhne verteilten Fruchtbäume findet Verwendung. Weidebrand wird nicht geübt; das trockene Gras dient, vom Dorfhauptling zugemessen, zur Bedachung der einfachen, Mensch und Tier beherbergenden Hütten. Sparsamer Bewirtschaftung unterliegt auch ein Tonlager; das Korn wird auf bloßem Fels gemahlen. Zu dieser umsichtigen, mit der Erziehung zu hochentwickelter Rechtsauffassung Hand in Hand gehenden Wirtschaft trat eine gewisse künstliche Beschränkung des Geburtenzuwachses durch Tötung der Zwillinge, eine Unsitte, die der Europäer zu unterdrücken sich anschickte. Bei alledem erscheint das mögliche Ziel der Bevölkerungspolitik bereits restlos erreicht, so daß nunmehr mit einer Abwanderung nach dem Festlande in den kommenden Jahren zu rechnen ist.

**Lehren der Volkszählung in Puerto Rico** (*The population of Porto Rico*; The Geographical Review 11, 140, 1921). Die Ergebnisse der 1920 vorgenommenen Volkszählung auf Puerto Rico sind im Vergleiche mit den früheren von einer gewissen allgemeinen Bedeutung, insbesondere auch, weil sie den Einfluß der Einbeziehung dieser alten spanischen Kolonie in das amerikanische Wirtschaftsleben zeigen. Im Jahre 1910 betrug die Volkszahl 1 118 012; die Bevölkerung war außerordentlich gleichmäßig über die Insel verstreut. Der Anteil der städtischen Bevölkerung, die sich hauptsächlich in den zu den Mittelstädten zu rechnenden Orten San Juan und Ponce (heute 70 707 bzw. 41 561 Einwohner) zusammenfand, betrug 1899 14 %, 1910 20,1 %, 1920 20,8 %. Es setzte also nach der amerikanischen Besetzung ein erhöhter Zuzug zur Stadt ein, jedoch nur ein vorübergehender, der offenbar mit der zeitgemäßen Einrichtung des wirtschaftlichen Lebens in der in spanischer Zeit verwahrlosten Kolonie in Zusammenhang steht und nichts mit der symptomatischen Landflucht der Kulturländer zu tun hat. Dagegen beginnt die weitere Steigerung der schon

früher beträchtlichen Volkszunahme — 16 %, fast ebensoviel vor 1910 — ein anderes Problem zu zeitigen. Die Volksdichte beträgt nämlich jetzt 125 auf den Quadratkilometer, ein Wert, der mit dem der Poebene zu vergleichen ist und bei dem das Land an der Grenze seiner Menschaufnahmefähigkeit angelangt zu sein scheint. Es erhebt sich die Frage, wie der Bevölkerungsüberschuß zu ernähren ist. Die Sorge, die sie der amerikanischen Regierung bereitet, und die auch schon in der Literatur zur Sprache gekommen ist, läßt darauf schließen, daß die Auswanderung Schwierigkeiten begegnet und daß die Industrialisierung der Insel durch die Amerikaner bereits an der Grenze der bodenbedingten Möglichkeiten angekommen ist. Da die Verhältnisse im ganzen westindischen Inselgebiete ähnliche sind, so dürfte in absehbarer Zeit hier ein neues Zentrum übermäßiger Menschenansammlung mit allen wirtschaftlichen und sozialen Folgen in Erscheinung treten.

**Die Klimazonen Japans** (*Climatic zones of Japan and Formosa*; The Geographical Review 11, 145, 1921). Den Wärmeverhältnissen nach gliedert sich Japan in drei durch die Januariesothermen von +0,6 und +4,4° C. (aus Fahrenheitgraden umgerechnet) abgegrenzte Zonen. Die erste, Jesso und Nordnippon umfassende, ist durch eine bedeutende Wärmeschwankung ausgezeichnet. Der Unterschied zwischen mittlerer Sommer- und Wintertemperatur beträgt bis zu 34° C. und ist schärfer ausgesprochen als der des klimatisch mit Jesso vergleichbaren Neufundland. Die Niederschläge, im September gehäuft, betragen nur 600 mm. Südwärts nimmt die Wärmeschwankung ab und steigern sich die Niederschläge. Die zweite oder Zentralzone, die zwei südlichen Drittel Nippons umschließend, unterliegt einer klimatischen Längsteilung. Im Zusammenhange mit den Luftdruck- und Windverhältnissen über Asien hat die östliche Abdachung ihre Regenzeit im Sommer, die westliche gleichzeitig durch größere Bewölkung und Nebelreichtum ausgezeichnete im Winter. In ihrem südlichen Teile wird zweimal geerntet, Reis im Sommer, Weizen im Winter. In der Südnippon, Shikoku und Kjusiu umfassenden Südzone ist der Winter im Verhältnis zur Breite kühl, der Sommer tropisch heiß, feucht und erschlaffend. Das unter dem Wendekreise liegende Formosa hat ausgesprochenes Monsunklima: schwere Winternormsunregen im Norden und Osten — Kashoryo gehört mit 8670 mm zu den feuchtesten Punkten Ostasiens —, leichte südwestliche Regen im Sommer, vermehrt um die im Gefolge von Taifunen auftretenden unregelmäßigen Güsse.

**Die Wälder Patagoniens** (*H. N. Whitford, The Patagonian forests*, The Geographical Review 11, 141, 1921). Ein 1916 erschienener Bericht des argentinischen Ackerbauministeriums gibt folgende Gliederung der patagonischen Waldregion, die durch 22 Breitengrade hindurch dem südlichsten Abschnitte der Anden bis zum Feuerlande folgt:

1. Subregion der artenreichen Regenwälder (chilotescher Wald Steffens, vgl. Nat. VIII, 281, 1920). Von 38°—48° s. Br. (weiter nordwärts entwaldet) in niederschlagreichem, in niederen Lagen mildem, frost- und schneefreiem Gebiete. Der Wald hat mehr subtropischen als antarktischen Charakter. Seine wesentlichsten Vertreter sind: *Nothofagus obliqua* (roble), *procera* (rauli), *Dombeyi* (coihue), immergrüne Buchen und die Koniferen *Libocedrus* (cipres), *Fitzroya patagonica* (alerce), *Podocarpus*.



2. Subregion der artenarmen Regenwälder (magellanischer Wald Steffens). Von 48°—55° s. Br. in kühlerem Klima unter gleichen Niederschlägen. Der Leitform *Nothofagus betuloides* (guindo) sind einige andere Arten und Unterholz beigemischt.

3. Subregion der reinen Bestände, in einem schmalen Gürtel trockenen Klimas östlich und nördlich der Regenwälder vom Feuerlande bis zum nördlichen Teile des Territoriums Neuquén verlaufend, nach außen in waldfreie Regionen übergehend. Die Leitformen *Nothofagus pumila* (lengue) und *antarctica* (ñire) erscheinen in fast reinen Beständen. Die Waldgrenze steigt nordwärts von 1300 bis 2000 m an.

4. Subregion der chilenischen Fichte (*Araucaria imbricata*), in den Kordillern von 40°—37° s. Br., auf der chilenischen Abdachung zwischen 38° und 37°; hier mehr gemischt, auf der argentinischen in reineren Beständen. Die Waldgrenze steigt von 700 m in 40° auf 2000 in 37° s. Br. an.

Die gesundheitlichen Verhältnisse in Mexiko, allgemein geographisch betrachtet. (Ellsworth Huntington, the relation of health to racial capacity: the example of Mexico; The Geographical Review 11, 243, 1921.) In diesem Aufsatz wird, von der Voraussetzung ausgehend, daß die Sterbeziffer ein Maß für den gesundheitlichen Wert eines Erdraumes sei, an dem Beispiele von Mexiko versucht, die geographische Komponente des gesundheitlichen Zustandes herauszuarbeiten und durch Vergleich mit andern Ländern für die heißen und warmen Gebiete der Erdoberfläche allgemein gültige Gesetze zu ermitteln. (Da die Beziehung zwischen Rasse und Gesundheit in dem Aufsatz nur eine untergeordnete Rolle spielt und bei weitem nicht in dem Maße vergleichend behandelt wird wie das Klima, so entspricht der Titel dem Inhalte nur unvollkommen.) In Mexiko gestalten sich die Gesundheitsverhältnisse auf Grund amtlicher — nicht durchweg zuverlässiger — Erhebung folgendermaßen: Die Malaria sucht hauptsächlich die Tieflandregionen, namentlich den tropischen Süden heim, der auch die meisten Fälle von Dysenterie aufweist. Das Hochland bevorzugt Pocken, Typhus und die Erkrankungen der Atmungsorgane mit Ausnahme der Tuberkulose, die vornehmlich in Niederkalifornien und Sonora und in Yucatan verbreitet ist. Der mittleren Sterblichkeit nach steht Mexiko in der Reihe der anderen Länder an ungünstiger Stelle, und zwar nicht nur das tropische Tiefland, sondern auch das allgemein für gesund gehaltenes Hochland (Berlin 15,2 auf 1000; Veracruz 41,2; Mexiko (Stadt) 45,7; Lucknow 58,5). Ganz besonders groß ist bei hohem Geburtenüberschuß die Sterblichkeit der Säuglinge (241,0, wenn nicht gar 365,0, Deutschland (1914) 192,0), wie der Kinder überhaupt (bis zum Fünffachen der unter der weißen Bevölkerung der Union). — Was die Ursache dieser zum mindesten für das gemäßigte Hochland auffallend ungünstigen Ziffer anlangt, so verwirft Huntington — und damit beginnt das Eigenartige seiner Anschauung — die Ansicht des mexikanischen Autors A. J. Pani, die schlechte Verwaltung und die überaus mangelhafte Gesundheitspflege trügen die Schuld. Sich auf Indien und Ägypten berufend, wo trotz aller hygienischen Maßnahmen der Engländer die Sterbeziffern noch höher seien, erblickt er die wahre Ursache vielmehr in erster Linie in der Wirksamkeit klimatisch bedingter Schädlichkeiten. Die vergleichende Statistik läßt ihn drei Gruppen gesundheitlich verschieden ausgestatteter Tropenregionen erkennen: heiße und feuchte Tiefländer mit mittlerer Sterbeziffer

von 34,6 (Veracruz, Calcutta); kühle und trockene Hochländer mit einer solchen von 37,6 (Mexiko-Stadt, Johannesburg), heiße und trockene Tiefländer (53,8; Kairo, Lucknow). Hieraus folge, daß tropische Hochländer keineswegs den Ruf verdienen, den sie in gesundheitlicher Hinsicht genießen, und daß die Trockengebiete im allgemeinen der Gesundheit minder zuträglich seien als die feuchten. Den Beweis erblickt er in dem Ansteigen der Sterbeziffer während der trockenen Jahreszeit, nicht nur in Mexiko, sondern auch in Indien wie auch unter gemäßigtem Klima — in Boston; des weiteren auch in ihrem nachweislichen Sinken bei ansteigender Luftfeuchtigkeit, äußerste Grade der Wärme und Feuchtigkeit ausgenommen. Die Temperatur allein sei weniger durch ihre äußersten Werte als durch ihre Schwankung innerhalb des Jahres von Wirkung, und zwar von um so ungünstigerer, je gleichförmiger sie ist. Diesen von Haus aus ungünstigen gesundheitlichen Verhältnissen sei die mexikanische Bevölkerung im ganzen wenig gewachsen; unter den Indianern wie unter den Kreolen seien die tüchtigeren Typen durch den so langen Aufenthalt unter den ungünstigen Umständen allmählich durch natürliche Auslese ausgemerzt worden (the more active and nervous types seem to have been largely weeded out by natural selection)!

Huntingtons Ausführungen zeigen ein in großem Umfange für die europäische Besiedelung als vorzüglich geeignet angesehenes Land in düsterer Beleuchtung, nicht nur für die Gegenwart, sondern auch für die Zukunft, zumal bei der jetzigen Zusammensetzung der Bevölkerung. Angesichts des Mangels außergewöhnlicher gesundheitlicher Gefahren, wie es etwa Gelbfieber und Schlafkrankheit sind, und der augenscheinlichen Annäherung der hauptsächlichsten Klimafaktoren an die der alten Kulturländer im Mittelmeergebiete, erscheint die schlimme Prognose doch anfechtbar, und man tut gut, mit Pani die Erfolge der bislang noch ausstehenden gesundheitlichen Maßnahmen abzuwarten. Die günstigen Erfahrungen, die man in anderen tropischen Hochländern bezüglich der Besiedelbarkeit zunehmend macht (Brasilien, Angola), bilden einen triftigen Einwand gegen Huntingtons von der herrschenden abweichende Wertung der tropischen Ländertypen. Was im übrigen eine gesundheitsgeographische Einteilung der Tropen anlangt, so setzt sie eine Fülle geographischer, klimatologischer, pathogenetischer, rassebiologischer und statistischer Erfahrung voraus. Mit Huntingtons Mitteln, einem spärlichen, z. T. anfechtbaren Zahlenmateriale und dem auf gröbste klimatische Merkmale gestützten Vergleiche vermag man in einen so gewaltigen und vielgestaltigen Erscheinungskomplex nicht einzudringen.

Hokkaido, das japanische Nordland (Wellington D. Jones, Hokkaido, the northland of Japan; the Geographical Review 11, 16—30, 1921). In seinem überwiegenden Teile gebirgig, z. T. von edelgeformten Vulkankegeln besetzt, reich an reißenden Flüssen und arm an ausgedehnten Ebenen, ähnelt Hokkaido, die Nordinsel Japans, topographisch und landschaftlich den übrigen Inseln dieses Archipels. Indessen besteht in klimatischer Hinsicht ein auffallender Gegensatz: Gleicht das Klima der Hauptinsel Hondo, dem mediterranen Carolinas an der Ostküste der Union, so das Hokkaidos dem kühlen und kontinentalen Wisconsin am oberen und Michigansee. Die Anbauerzeugnisse der Hauptinsel und des „Nordlands“ — das bedeutet der Name Hokkaido — Reis auf der



einen, Bohnen, Erbsen, Kartoffeln auf der anderen Seite, kennzeichnen diesen Gegensatz ebenso sehr, wie die Tatsache, daß Hafer und Gerste, dort im Winter, hier im Sommer reifen. Nur in den Ebenen des Innern, die sich längerer Sommerdauer erfreuen als die Küste, nähert sich das Klima dem der südlichen Inseln, und zwar derart, daß die Grundlage aller japanischen Kultur, der Reisanbau, in gewissem Maße gegeben ist. So nahe es für die Japaner liegt, den Menschenüberschuß ihrer übervölkerten Inseln nach dem einsamen Hokkaido zu leiten, ist dies bis vor kurzem doch nicht geschehen. Die Rauheit des Wetters, gegen die die üblichen, dem subtropischen Klima angepaßten leichten Bambus-Papierbauten keinen Schutz gewähren, die frühere Anschauung von der Unmöglichkeit des Reisanbaues, die Notwendigkeit harter, ungewohnter Rodung der noch wenig gelichteten Walddecke, nicht zum mindesten auch der Hang an Heimat und Überlieferung schreckte die Japaner von der Besiedlung ab und überließ die Insel dem Restvolke japanischer Urbevölkerung, den Ainu. Erst seit 1880, nachdem man die Möglichkeit des Reisanbaues erkannt und unter Leitung amerikanischer Kolonisten die Klimaumbilden einzuschränken gelernt hatte, beginnt sich die Insel zu bevölkern und zwar in einem Maße, daß in einem Vierteljahrhundert ihre Sättigung mit Menschen erreicht sein wird. So befindet sich Hokkaido gegenwärtig mitten auf dem Wege von ursprünglichen Eingeborenen zu moderner japanischer Kultur, vom urwüchsigen Raume zur gleichartigen Provinz eines hochentwickelten Landes. Mehr als die Hälfte des anbaufähigen Bodens liegt bereits unter dem Pfluge, wenn auch die Bodenbewirtschaftung noch nicht den Intensitätsgrad erreicht hat wie das „alte Japan“, und noch Zeichen jugendlicher Entwicklung aufweist: Noch ragen häufig aus den gerodeten Feldern die Leichen durch Schälung zum Absterben gebrachter Bäume auf, noch ist vor allem die Viehzucht nicht im richtigen Verhältnis zu der verfügbaren Weidefläche und zum Bedarfe an Zugtieren — Fleischgenuß spielt in Japan eine geringe Rolle — gebracht. Dem Anwachsen der Anbaufläche entsprechend ist der Wald im Weichen begriffen. Seine der sonst in Japan verbreiteten Kampferbäume und immergrünen Eichen, entbehrenden Nadel- und Nutzholzbestände werden nicht nur durch die in neuen Ländern gebräuchlichen, verwüstenden Rodungsmethoden, sondern auch durch den Schneidemühlbetrieb gelichtet, der die bequem heranzufließenden Stämme verarbeitet. Von Bedeutung werden in naher Zukunft die Kohlenvorräte Hokkaidos sein, da die wenig größeren von Kiushiu in rascher Abnahme begriffen sind. Schon heute wird knapp ein Drittel der japanischen Kohle hier gefördert (3 700 000 t). Alle diese Wirtschaftszweige werden indessen die älteste Industrie, die sehr ergiebige Fischerei — auf den Hering im japanischen, den Kabeljau im ochotskischen Meere und den Lachs in den Flüssen —, von ihrer ersten Stelle nicht verdrängen.

**Die Perlfischereilande in der Torresstraße.** (*Th. J. Mc Mahon, The pearl fishers of Torres Straits islands; The Geographical Review* 9, 182, 1920.) Die wegen ihres gefährlichen Fahrwassers berühmte und von der Schifffahrt gemiedene Torresstraße wird durch eine Anzahl von Koralleninseln eingeengt, deren größere bewohnt sind. Hier entdeckten vor 30 Jahren wandernde Abenteurer in den Perlen der Riffe einen lohnenden Ausbeutungsgegenstand. Sie

ließen sich auf den Inseln nieder, fischten mit ungestümer Gier die Flachsee auf Perlen ab und würden dabei die Eingeborenen durch Sklaverei und Verschleppung, Hunger und Krankheit zum Aussterben gebracht haben, wenn nicht in letzter Stunde die australische Regierung mit Unterstützung der Mission diesem Unwesen ein Ende gesetzt hätte. Seit ihrem Eingreifen herrscht Ordnung; die physisch und moralisch tüchtigen Inselbewohner haben sich dem Kolonialleben angepaßt und erfreuen sich guten Gedeihens. Auf die See angewiesen, haben sie bewunderungswürdige seemannische Fähigkeiten erlangt; in der Kenntnis der Untiefen und verborgenen Riffe, der unregelmäßigen Wind- und Strömungsverhältnisse und in der Überwindung der Brandung übertreffen sie den Weißen, von dessen geringerer Vertrautheit mit allen diesen Fährnissen zahlreiche Wracks zeugen.

Jede dieser Inseln hat ihre Besonderheiten: An der Murrayinsel offenbart sich in den mannigfach gefärbten, im Sonnenscheine unbeschreiblich leuchtenden Riffen, in dem Wechsel von Stränden und Hügeln, prachtvoller tropischer Pflanzenwelt und malerischen Eingeborenendörfern der ganze Zauber der Südseeinselwelt. Die Darnleyinsel weist mit ihren aus gewaltigen Blöcken in abenteuerlichen Formen errichteten, den ganzen Strand umgebenden, heute rätselhaft erscheinenden Fischfallen auf vergangene Südseekultur hin. Mabuiaginsel ist der Kulturmittelpunkt, das Olympia des Archipels, dessen Bewohner sich hier alle fünf Jahre zu festlichen, früher oft blutigen, jetzt unter dem Einflusse der Mission harmlos gewordenen Spielen vereinigen. Die Yorkeinsel, auf deren Strand die Brandung noch jetzt alte Geschützrohre, Säbel und Münzen, vornehmlich spanischer Abkunft, wirft, erinnert an das Zeitalter der Südseeentschleierung. Auch knüpft sich an dieses Eiland das Gedenken an den Matrosen „Yankee Ned“, einen amerikanischen Robinson, der, von einem Kriegsschiffe geflohen, hier lebte und zahllose Nachkommen hinterließ. Endlich ist das zum Hauptort ausgebaute Thursday-Island mit seinen die Fahrstraße beherrschenden Festungswerken ein vorgesehobener Posten des britischen Imperiums.

**Die Kupfererzeugung der Erde während der letzten 120 Jahre.** (*The world's copper production; the Geographical Review* 11, 303/4, 1921.) Um 1800 betrug die Kupfererzeugung 15 000 t, die in der Hauptsache in Großbritannien, sodann aber in Rußland, Japan, Chile, Schweden (Falun), Norwegen und Deutschland (Mansfeld) gewonnen wurden. 1850 war der Verbrauch auf 60 000 t gestiegen. Zu den Produktionsländern waren Australien, Kapland, die Vereinigten Staaten und Kuba getreten. Bis 1870 schwang sich bei weiter wachsendem Bedarf Chile an die erste Stelle. 1883 befriedigte die Union als Hauptlieferer 26 % der auf fast 200 000 t gewachsenen Nachfrage. Nach 1900 wurde die nunmehr hauptsächlich infolge der Entwicklung der Elektrizitätsindustrie auf 7 333 000 t gesteigerte Ausbeute zu 51,5 % von der Union, zu 11,5 % von England, zu 10 % von Spanien und Portugal, zu 8 % von Südamerika, zu 6 % von Mexiko, zu 5 % von Japan und zu 4,5 % von Deutschland geliefert. Weiterhin verdoppelten die amerikanischen Länder und Japan ihre Erzeugung, während Serbien und Deutsch-Südwestafrika ausführend auftraten. Die Ausbeute der letzten Jahrzehnte schätzt man auf mehr als 10 000 000 t, d. i. mehr als die des ganzen vergangenen Jahrhunderts.

B. Brandt.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 12. (Seite 265—288)

24. März 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Wie sehen wir die Natur und wie sieht sie sich selber? Von *J. v. Uexküll, Heidelberg*. (Mit 1 Abbildung.) S. 265.

Über die Harmonie des tierischen Entwicklungsgeschehens. Von *Leopold von Uebisch, Würzburg*. (Mit 9 Abbildungen.) S. 271.

### Besprechungen:

Przibram, H., Methodik der Experimentalzoologie. Von *B. Dürken, Breslau*. S. 278.

Krehl, Ludolf, Pathologische Physiologie. 11. Auflage. Von *A. Pütter, Bonn*. S. 280.

Buchner, Paul, Tier und Pflanze in intrazellulärer Symbiose. Von *V. Jollos, Berlin-Dahlem*. S. 280.

Klatt, Berthold, Studien zum Domestikationsproblem. Untersuchungen am Hirn. Von *Günther Just, Berlin-Dahlem*. S. 281.

Korschelt, E., Lebensdauer, Altern, Tod. 2. Auflage. Von *W. Thörner, Bonn*. S. 281.

### Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Die Numerierung der Linien von Bandenserien. Von *W. E. Curtis, Sheffield*. S. 282.

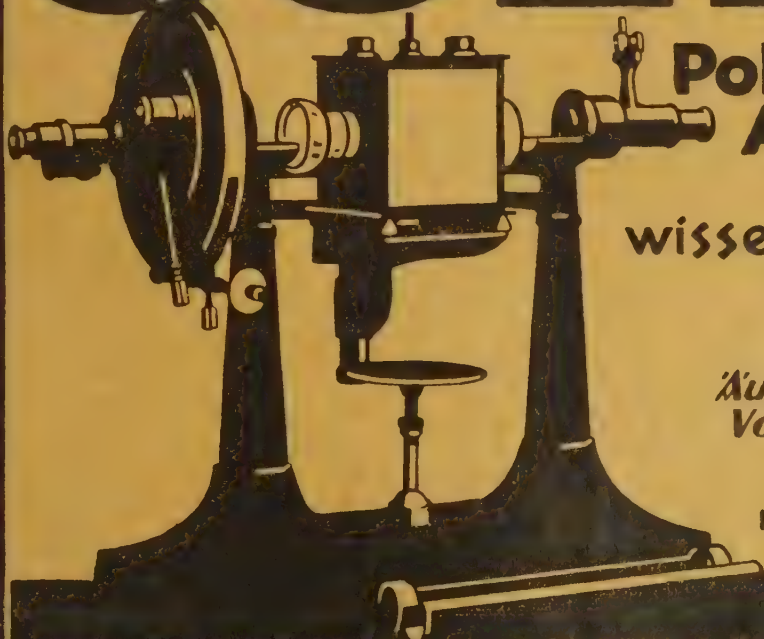
Erwiderung. Von *A. Kratzer, München*. S. 283.  
Über die Errichtung eines Zweig-Laboratoriums der Biologischen Anstalt in List auf Sylt. Von *Hagmeier, Helgoland*. S. 284.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten. S. 284-287.  
Die Entwicklung der Brille IX. Von dem Einfluß des Wetters auf den Gesang der Vögel.

Astronomische Mitteilungen. S. 287-288.

Bestimmung und Zusammenhang der astronomischen Konstanten. Die Sterne vom 4. Secchi-schen Typus.

# GOERZ



## Polarisations- Apparate

für  
wissenschaftliche  
Zwecke



*Äusserste Stabilität  
Vorzügliche Optik*



Katalog kostenfrei

Optische Anstalt **C. P. GOERZ** Aktiengesellschaft  
BERLIN-FRIEDENAU

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagsbuchhandlung zum Preise von M. 40.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 4.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzelle angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C  
Postcheck für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20220 Julius Springer,  
Postcheck für Anzeigen- u. Beilagenbeträge: Berlin Nr. 118935 Julius Springer,  
Konten: für alle übrigen Zahlungen: Berlin Nr. 11100 Julius Springer.

### Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

**J. D. Möller, Wedel in Holstein.**

Gegründet 1864. (250)

### Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

**zu kaufen gesucht.** Angebote unter **Nw. 236** an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

Große chemische Fabrik sucht einen mit der

### Schädlingsbekämpfung

in der Landwirtschaft und möglichst auch im Obst-, Gemüse- und Weinbau

**bestens vertrauten Herrn**

(Pflanzenpathologe oder Entomologe)

zur Leitung ihrer Versuchsstation. Angebote mit ausführlicher Angabe der bisherigen Tätigkeit erbeten unter **Nw. 279** an die Expedition dieser Zeitschrift. (279)

**Verlag von Julius Springer in Berlin W 9**

# Umwelt und Innenwelt der Tiere

von

**J. von Uexküll**

Dr. med. h. c.

Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage

Mit 16 Textabbildungen. (VI, 224. S.)

1921. Preis M. 48.—; gebunden M. 54.— (und Teuerungszuschlag)

#### Inhaltsverzeichnis:

Einleitung. — Das Protoplasmaproblem. — Amöba Terricola. — Paramaecium. — Der Funktionskreis. — Anemonia sulcata. — Medusen. — 1. Rhizostoma pulmo. — 2. Carmarina und Gonionemus. — Die Seeigel. — Die Muskeln. — Die Zentren. — Die Statik der Erregung. — Die Dynamik der Erregungen. — Die Rezeptoren. — Arbacia pustulosa (spezieller Teil). — Centrostephanus longispinus. — Die kurzstacheligen Seeigel. — Die Pedicellarien. — Die Umwelt. — Die Herzigel. — Die Schlangensterne. — Sipunculus. — Der Regenwurm. — Die Blutegel. — Die Pilgermuschel. — Die Manteltiere. — Aplysia. — Die Gegenwelt. — Carcinus maenas. — Die Cephalopoden. — Libellen. — Der Beobachter. — Literatur.

**Zu beziehen durch jede Buchhandlung**



# DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zehnter Jahrgang.

24. März 1922.

Heft 12.

## Wie sehen wir die Natur und wie sieht sie sich selber?

Von J. v. Uexküll, Heidelberg.

Wer auf wochenlanger Seefahrt die tropischen Meere durchfährt, dem prägt sich Tag für Tag in ermüdendem Einerlei das gleiche Bild in die Seele. Ein runder blauer Teller umgibt ihn, über den ein blauer Glassturz gestülpt ist. In der Nacht wird der Teller dunkler, aber das Gewölbe des Glassturzes schmückt sich mit tausend Lichtern.

Wie ein blaues Gefängnis umgeben den Reisenden Meer und Himmel, aus dem sich das Auge vergeblich hinaussehnt, denn Teller und Glassturz begleiten ihn mit unerbittlicher Naturnotwendigkeit. Die Öde innerhalb des kuppelförmigen Gefängnisses wird nur unterbrochen durch die Scharen fliegender Fische, die stets von neuem vom Kiel des Schiffes aus ihrer nassen Heimat verscheucht werden. Dann fliegen sie wie Schwalben einige hundert Meter weit über die eintönig daherrollenden Wogen und verschwinden wieder in der Tiefe.

Selten schiebt sich die ferne Silhouette eines vorüberfahrenden Dampfers vor den ewig gleichen Horizont.

Erst, wenn wir uns dem Lande nähern, füllt sich der Innenraum der blauen Kuppel mit mannigfaltigen Bildern, die das Auge erlaben. Die Mauern des Gefängnisses weiten sich und treten zurück hinter den reichen Inhalt der Zelle. Wir vergessen dann über dem Interesse an der uns nun umgebenden reichbewegten Welt, daß die Mauern, die uns umschließen, nicht gewichen sind und nicht weichen werden bis an das Ende unserer Tage.

Wir vergessen unsere Mauern so gründlich, daß wir sie nicht einmal auf unsere Karten einzeichnen, in denen doch alles, was den bunten Teller des Erdbodens belebt, wie Wälder, Berge und Flüsse, sorgfältig eingetragen ist. Und doch müßte ein jeder, der seine eigene Reise auf der Karte nachziehen will, ein kleines blaues Uhrschälchen, das seinen Horizont wiedergibt, mitwandern lassen, um sich klar zu machen, was er wirklich gesehen oder sehen konnte.

Die blaue Kuppel, die so oft von Wolken verdeckt ist, tritt immer wieder hervor. Auch sie wechselt ihre Gestalt. Dem am Abhang eines Berges Ruhenden scheint sie nahe seinem Rücken dicht hinter dem Bergrand aufzusteigen, während sie sich vor ihm weit, weit jenseits des reichgegliederten Tales herabsenkt.

Wer im Luftballon emporsteigt, dem weitet

sich der Innenraum seines Gefängnisses in beglückender Weise — aber es wird niemals gesprengt.

Selbst wenn wir in den Himmelsraum emporsteigen und Sonne und Planeten vor uns liegen sehen könnten, wie ihre Modelle im astronomischen Kabinett, stets wären wir von einer uns ringsum abschließenden, undurchdringlichen Wand umgeben.

Immer ist der Raum, der uns umgibt, begrenzt. Einen unbegrenzten Raum kann man sich vielleicht in Gedanken vorstellen, unsere Sinneswerkzeuge kennen ihn nicht: Sie lehren uns, daß wir stets umgeben bleiben von einer vielleicht zerbrechlichen, aber für uns gleich unerreichbaren wie undurchdringlichen Seifenblase.

Ein jeder von uns trägt diese Seifenblase wie eine feste Schale sein Lebtage mit sich herum. Sie ist an uns gebunden wie wir an sie.

Innerhalb seiner Seifenblase geht für jeden von uns seine Sonne auf und unter. Diese Sonnen sind sehr verschieden. Wir in den nördlichen Zonen wissen wohl, daß die Sonne eine runde Scheibe ist, denn bei ihrem Untergang blendet sie unsere Augen nicht. Aber in den Tropen weiß niemand, wie die Sonne aussieht, dort wandelt ein gewaltiges Feuer über den Himmel, unsichtbar in seiner Helligkeit.

Noch verschiedener sind die Sterne. Wer tadellose Augen im Sinne des Arztes besitzt, dem erscheinen kleine, blanke, runde Scheiben am Nachthimmel. Andere werden beschienen von hellen Lämpchen, die ein Strahlenkranz umgibt.

Aber dies sind verschwindende Unterschiede gegenüber den tiefgreifenden Verschiedenheiten, die sich bei eingehenderem Studium der Umwelten unserer Mitmenschen uns offenbaren. Unter Umwelt wollen wir die ganze Seifenblase mit ihrem gesamten Inhalt verstehen.

Meist begnügt man sich damit, die Verschiedenheit der Gegenstände festzustellen, die wir selbst wahrnehmen können, wenn wir uns an den Wohnort eines anderen Menschen begeben, um daselbst ein fremdes „Milieu“ zu studieren. Daran schließen sich meist mehr oder weniger erbauliche Betrachtungen über die Wirkung des Milieus auf das menschliche Gemüt.

Darum handelt es sich hier gar nicht, sondern um die Erforschung der konstitutionellen Unterschiede der verschiedenen Umwelten, die ganz unabhängig vom Wohnort des einzelnen Menschen sind.

Daß es solche konstitutionelle Unterschiede geben muß, wird sofort einleuchten, wenn man sich klar macht, daß ein jeder nur insoweit von

seiner *Umwelt* umgeben ist, als er etwas von ihr merkt. Da die Merkfähigkeit der Menschen außerordentlich wechselt, müssen auch ihre *Merkwelten* voneinander abweichen. Mit seiner Umwelt steht der einzelne Mensch nicht nur mittels seiner Sinneswerkzeuge, die eben das Merken ermöglichen, in Verbindung, sondern auch dank seiner Handlungswerkzeuge, die ihn mit seiner *Wirkungswelt* verbinden. Merkwelt und Wirkungswelt bilden gemeinsam die Umwelt.

Die Trennung von Merkwelt und Wirkungswelt spielt bei den Tieren eine große Rolle, während die Menschen auch ihre eigenen Handlungen in ihre Merkwelt miteinschließen.

Es handelt sich daher bei den Menschen im wesentlichen darum, die konstitutionellen Unterschiede ihrer Merkwelten festzustellen.

Da zeigt sich denn sofort, daß die Zahl und die Art der von den verschiedenen Menschen unterschiedenen Gegenstände außerordentlich wechselt. Alle Menschen, die gezwungen sind, sich dauernd in der freien Natur zu bewegen, unterscheiden in ihr viel mehr verschiedene Dinge als die Städter.

Die Ursache hierfür bildet die dauernde Einstellung der Aufmerksamkeit auf die feineren Unterschiede der Umgebung, wie das der Beruf mit sich bringt. Dadurch werden die Umwelten so entscheidend umgestaltet, daß man von *Berufsumwelten* reden kann.

Die Umwelt eines Schneiders zeigt ihre Überlegenheit über die eines Jägers, wenn sich beide in der Hauptstraße einer Stadt befinden und die Moden der Damen Revue passieren lassen. Dagegen ist sie der des Jägers durchaus unterlegen, wenn sie beide im Wald spazieren gehen.

Je mehr sich die Menschen von der Beobachtung ihrer Umgebung zurückziehen, um sich der Beschäftigung mit unanschaulichen Dingen hinzugeben, um so mehr verarmt ihre Umwelt.

Einen außerordentlichen Einfluß auf die Gestaltung der Umwelt übt das *Gemüt* des Menschen aus, weil dieses entsprechend seinen Gefühlen, von denen es vornehmlich bewegt wird, der Aufmerksamkeit verschiedene Richtlinien vorschreibt. Es gibt Leute, die in der Natur das Lyrische, andere, die das Heroische oder das Erzählende aufsuchen und dementsprechende Eindrücke empfangen. So sind manche Umwelten der Hauptsache nach schön, andere erhaben, andere wieder melancholisch und leider sehr viele häßlich.

Bei den Bauern, die auf dem Nützlichkeitsstandpunkte stehen, ist die Umwelt weder schön noch häßlich, sondern ertragreich oder arm.

Völlig ungegenständlich ist die Umwelt der Händler gestaltet, die nur nach dem Preise sehen und immer nur jene Merkmale in sich aufnehmen, die ein sicheres Schätzen ermöglichen, d. h. hauptsächlich Größe und Zahl.

Die wundervolle Sage der Griechen vom König Midas, dem alles, was er berührte, zu Gold wurde und der inmitten seiner Reichtümer fast ver-

hungerte, kennzeichnet auch heutzutage eine ganze Klasse von Leuten, die gar nicht ahnen, wie sehr sie Eselsohren verdienen.

Die Umwelt der meisten sogenannten Reichen, die man auf Reisen trifft, zeichnet sich durch eine geradezu erbarmungswürdige Armut und Verschwommenheit aus. Da sie gar nicht gelernt haben, auf Unterschiede zu achten, sind sie, abgesehen von einigen wenigen Gegenständen, die sie nach ihren allgemeinen Merkmalen kennen, nur umgeben von einem verworrenen Gedudel von Farben und Formen, von denen sie wie der Unmusikalische, der die Töne eines Musikstückes nicht scharf zu unterscheiden vermag, nicht beglückt, sondern belästigt werden.

Es genügt, wenn man die Frage: Wie sehen wir die Natur? beantworten will, keineswegs, wenn man, wie bisher üblich, z. B. für die Erdbeschreibung die Berichte einzelner Forscher zusammenstellt. Es muß unbedingt die Beschreibung eines jeden Landstriches durch Wiedergabe der Umwelten der Haupttypen seiner Bewohner ergänzt werden. Und dadurch kommen die charakteristischen Züge der Landschaft zur Darstellung, die dem Landfremden entgehen, der seine europäische Betrachtungsweise mitbringt.

Auf diese Weise wird man überall abgeschlossene Weltbilder erhalten, die sich in ihren Einzelheiten gar nicht ähnlich sehen, aber gerade durch ihre Abwechselung den Reiz des Dargestellten erhöhen und das Verständnis vertiefen werden.

Es fragt sich nun, welche Methode auf die Beschreibung der Merkwelten anzuwenden ist, um zu einem erträglichen Resultat zu gelangen? Der Beobachter kann gar nicht anders vorgehen, als durch Zugrundelegung des Bildes, das sich ihm auf der Innenseite seiner eigenen Seifenblase bietet. Wenn er ein fremdes Weltbild darstellen soll, wird er aus dem eigenen Gemälde gewisse Teile wegwischen, andere hingegen mit mehr Einzelheiten versehen oder umzeichnen. Denn eines ist sicher: andere Eigenschaften als die seiner eigenen Welt kennt er nicht, da er alle Eigenschaften der Dinge aus dem Farbenkasten der eigenen Empfindungen entnehmen muß.

Es wäre sehr angezeigt, wenn ein jeder von uns sich die Mühe gäbe, sich in die Umwelten seiner Bekannten zu vertiefen. Dadurch würden viele Mißverständnisse vermieden und der selbstgerechte Wahn aufgeblasener Kritiker, die vermeinen, nur sie stünden auf dem Boden der Wirklichkeit, auf das heilsamste korrigiert.

Dann könnte sich auch die Erkenntnis endlich Bahn brechen, daß es *einen einzigen richtigen Standpunkt der Weltbetrachtung gar nicht geben kann*, sondern daß die Welt, die der Einzelne sieht, nur eine der hunderttausend Facetten ist, in denen die Natur sich spiegelt.

Der kaleidoskopartig wechselnde Anblick der Natur, den wir gewinnen, wenn wir uns nacheinander in verschiedene Menschenumwelten ver-



setzen, wird noch erheblich verstärkt, wenn wir die Umwelten der Tiere mit hinzunehmen.

Das ist aber unbedingt erforderlich, denn solange wir wie bisher ein jedes Tier mit unserer menschlichen Umwelt umkleiden, kommen wir aus den größten Irrtümern gar nicht heraus. Nur von diesem falschen Standpunkt aus konnte man behaupten, die Lebewesen seien in einer dauernden Vervollkommenheit begriffen, weil alle diejenigen Tiere, die weniger gut an die Natur angepaßt seien, ausstürben und nur die besser passenden überlebten.

Wenn man den Tieren ein unpassendes Menschengewand umwirft, gibt es freilich auch dazu unpassende Tiere. Erst wenn man die Tiere in ihr eigenes Umweltgewand kleidet, wird man gewahr, daß sie in dasselbe auf das vollkommenste eingepaßt sind.

Die erste Überraschung, die jeder erlebt, der sich dem Studium der Umwelten der Tiere zuwendet, wird dadurch erweckt, daß all unsere menschlichen Gebrauchsgegenstände sich in Naturdinge für die Tiere verwandeln. Ein Dachshund, der sich in unseren Stuben umhertreibt, sieht sich von einem Walde niederer Baumstämme umgeben, die er nur nach ihrer Dicke, Eckigkeit oder Rundung unterscheiden kann, denn worin der Unterschied zwischen Stuhl und Tisch besteht, kann ihm nicht klar werden. Ein Stuhl ist eine menschliche Sitzgelegenheit und ein Tisch dient der Benutzung durch einen sitzenden Menschen. Höhe, Dicke und Anzahl der Beine richten sich nach weiteren Spezialleistungen dieser Gegenstände für den Menschen. Alle unsere Gebrauchsgegenstände sind für spezielle Gegenleistungen gebaut, die gewisse menschliche Leistungen ergänzen. Ohne Kenntnis der menschlichen Leistung bleibt die Gegenleistung der Gegenstände verborgen.

Die Gegenstände können daher auf ein nicht menschliches Wesen (auch wenn es die gleichen Augen wie ein Mensch besitzt) nicht anders wirken wie Naturdinge, deren Gebrauch unbekannt ist und die daher keine Gegenleistung zu besitzen scheinen.

Daß in unseren Häusern, abgesehen von den Tieren, die wir selbst an diesen Wohnort gewöhnt haben, auch eine Menge wilder Tiere leben, wie Ratten, Mäuse, Fliegen, Ameisen, Motten usw., deren Zahl in den Tropen außerordentlich zunimmt, beweist, daß der Mensch ein gesetzmäßig handelndes Wesen ist, das seine Umgebung nach festen Regeln gestaltet. Dadurch entstehen Gegenstände, die von einer gleichen Naturgesetzlichkeit getragen werden wie die Dinge der freien Natur, und auf die sich gewisse Tiere wie auf diese einstellen können.

Für die Maus, die im Sommer im freien Felde lebt, im Winter sich aber in ein menschliches Haus zurückzieht, herrschen hier wie dort feste Naturgesetze, die ihr ein ihrer Organisation entsprechendes Dasein gewährleisten. Feste Merk-

male, wie Dunkel und Helligkeit, wie Widerstandsfähigkeit und Nachgiebigkeit der Stoffe, Gerüche von Nahrungsmitteln und Bewegungserscheinungen, die Anlaß zur Flucht geben, sind sowohl im freien Felde wie im Hause anzutreffen. Alle für das Dasein der Maus unwichtigen Einzelheiten werden gar nicht in Merkmale verwandelt. Und gar vom Zusammenhang der Formen und Farben mit den Gegenleistungen der Gegenstände dringt kein Strahl in die Umwelt der Maus.

Das Studium der Umwelten der Tiere ist vor allem deswegen mit besonderen Schwierigkeiten verknüpft, weil der Forscher dauernd von menschlichen Selbstverständlichkeiten Abstand nehmen muß, um sich bis zu den Merkmalen durchzuarbeiten, die allein für das eben beobachtete Tier von Bedeutung sind.

Die ganz ausgezeichneten Arbeiten von *Fabre* können uns als Grundlage dienen, um eine Vorstellung der Umwelten vorwiegend der Insekten zu gewinnen. Wenn wir eine der nicht staatenbildenden Grabwespen beobachten, die am Rande eines Sandhügels ihre Höhle baut, so werden wir vor allen Dingen die Seifenblase, die den Wespenhorizont umgrenzt, in 10—15 m Entfernung in Gedanken um die Wespe ausspannen und nun versuchen, alles, was sich innerhalb der Seifenblase befindet, in Wespendinge zu verwandeln.

Der Sand mit all seinen Eigenschaften der Feinkörnigkeit, Feuchtigkeit, Wärme und seinem gelblichen Schimmer scheint zu den Wespendingen zu gehören, da nur ganz bestimmte Eigenschaften den Höhlenbau ermöglichen und der Sand auch aus der Ferne erkannt werden muß.

Fliegt die Wespe auf Nahrungssuche davon, so bleibt sie von ihrer Seifenblase umgeben und alles, was in diese gelangt, verwandelt sich in ein Wespending. Die meisten Objekte wirken nur als Hindernisse, manche wohl auch als Wegweiser, wo die Beute zu suchen sei. Dann schreitet plötzlich ein Merkmal des Beutetieres aus allen Merkmalen heraus und die Wespe stürzt sich auf ihre Beute. Das Beutetier selbst besitzt ganz unfehlbare, uns unbekannte Merkmale, die dem Stachel der Wespe den Weg zeigen, den er zu nehmen hat, um den Nervenknoten zu treffen. Die Beutetiere der verschiedenen Wespenarten wechseln: Grillen, Raupen, Käferlarven und Spinnen haben alle eine durchaus verschiedene Anatomie. Aber jeder Jäger wird durch das Merkmal seines Beutetiers, auf das er speziell eingepaßt ist, mit Sicherheit in seinen Bewegungen gelenkt.

Das Wespengift lähmt das Nervensystem seines Opfers, ohne es zu töten, weil die junge Wespenbrut frisches Fleisch zur Aufzucht bedarf.

Das gelähmte Beutetier wird nun heimgeschafft. Vorher hatte die Wespe die Öffnung der Höhle, in der sich ihre Larven befinden, sorgfältig mit Steinchen und Sand verschlossen. Sie selbst findet den versteckten Eingang mit Sicherheit wieder. Welches Merkmal sie dabei leitet, ist

noch völlig rätselhaft, denn keine Verkleidung, die *Fabre* während der Abwesenheit der Wespe vornahm, beirrte die Wespe. Weder Pferdedung noch mit Äther besprengtes Moos hielt sie von ihrem Ziele ab. Einen Stein umging sie und bohrte sich mit Sicherheit an den Höhleneingang heran.

Nur eines brachte die Wespe völlig aus dem Konzept, wenn nämlich die Decke der Höhle sorgfältig entfernt wurde und Sonnenlicht in die Höhle fiel. Dann suchte die Wespe ununterbrochen nach dem fehlenden Eingang in die Dunkelheit. Sie lief auch in der geöffneten Höhle hin und her, wobei sie die bereits vorher eingetragene Beute und selbst ihre eigenen Larven rücksichtslos niedertrampelte.

*Fabre* vergleicht die zeitlich aufeinanderfolgenden Merkmale, die die Wespe bei ihren Handlungen leiten, mit einer Anzahl von Echos, von denen jedesmal das vorhergehende das nachfolgende weckt. Fällt ein Echo aus, so schweigen die folgenden.

Eine zeitlich gegliederte Merkmalskette leitet die Handlungen der Wespe. Immer ist zur gleichen Zeit nur ein leitendes Merkmal in der Umwelt vorhanden. Fehlt eines zu einem bestimmten Zeitpunkt, so wird es gesucht und erst, wenn es in der Merkwelt auftritt, löst es die nächstfolgende Handlung aus.

Hier kann man nicht mehr von einer mehr oder weniger gelungenen *Anpassung* des Tieres an seine Umgebung reden, sondern nur von einer unerhört feinen *Einpassung* in seine Umwelt. Das geht schon daraus mit Sicherheit hervor, daß das Merkmal vom Tier gesucht wird. Die Kette der äußerlich aufeinanderfolgenden Merkmale ist nur innerlich im Tier durch besondere Merkvorrichtungen geschlossen. Eine Anpassung des Tieres an äußere Merkmale findet überhaupt nicht statt, dafür aber eine Hineinpassung innerer Merkvorrichtungen in bestimmte äußere Merkmale. Der innere planmäßige Zusammenhang der Merkvorrichtungen ist hierbei das Primäre, die äußeren Merkmale das Sekundäre.

Erst von diesem Standpunkt aus wird die *Einpassungslehre*, die an Stelle der *Anpassungslehre* zu treten hat, völlig deutlich. Jeder Organismus eines Tieres besitzt in seinen Sinneswerkzeugen Fugen, die in ganz bestimmte äußere Merkmale als Zapfen hineinpassen. *Die bereits vorgebildeten Fugen suchen nach einem inneren Gesetz die zu ihnen gehörenden äußeren Zapfen und lehnen alles Unpassende ab.*

Die Fugen können wie im vorliegenden Falle der Grabwespe sehr spezialisiert sein, so daß nur ein einziger Zapfen in sie hineinpaßt. Wird dieser Zapfen abgebrochen, so wird dadurch die Funktion des ganzen Organismus unmöglich gemacht. Dies gilt für das Merkmal des Höhleneingangs, da er nur ein einziges Mal vorhanden ist. Die Merkmale für den Nervenknotten des Beutetieres sind wohl sehr feiner Art, wiederholen sich aber

bei jedem Beutetier von neuem. Dementsprechend passen hier die Fugen der Sinneswerkzeuge auf eine ganze Reihe von Zapfen gleicher Art.

Meist sind die Merkmale, die zum Beginn einer Handlung dienen, allgemeiner Art. So veranlassen die Bewegungen eines fallenden Blattes oder Papierschnittzels die großen Libellen zum Herabstoßen wie auf einen fliegenden Schmetterling. Erst in der Nähe setzt dann das spezielle Merkmal des Geruchs oder der Form ein und bewirkt das Zufassen.

Im Fugenapparat der Sinneswerkzeuge hat sich die Natur das Mittel geschaffen, um die notwendige Auswahl unter den Merkmalen zu treffen und alle denkbaren Kombinationen von Merkmalen für die verschiedenen Merkwelten auszunutzen.

Wenn wir die Frage: „Wie sieht die Natur für uns aus?“ dahin beantworten können, daß sie den Anblick vielfältig verschiedener Bilder darbietet, wie sie bei der Betrachtung der Innenseiten möglichst vieler Seifenblasen zum Vorschein kommen — so können wir jetzt die viel schwierigere Frage: „Wie sieht die Natur sich selber?“ vorläufig dahin beantworten: Sie sieht sich selbst mit zahllosen verschiedenen Augen an, von denen jedes im Mittelpunkt einer anderen Welt steht. Jede Welt wird durch den Horizont vollkommen abgeschlossen und in jeder Welt ist das Gesehene auch das einzig Sichtbare.

Durch diese Hunderttausende von Augen angesehen, muß die Natur einen überwältigenden Eindruck machen. Wir Einzelsubjekte, die wir nur unser eigenes Weltbild vor Augen haben, können trotzdem durch den Versuch, aus den Mitteln unserer Welt einige der anderen Welten in der Vorstellung aufzubauen, viel lernen.

Das Auffallendste wird beim ersten Vergleich verschiedener Welten ihr verschiedener Umfang für uns sein, der auf der verschiedenen Anzahl der in ihnen enthaltenen Orte beruht.

Es gibt einen kleinen Meereskrebs, dessen Netzhaut aus einem einzigen lichtempfindlichen Element besteht. Dieser Krebs kann mit seinem einzigen Sehstäbchen Dunkel und Hell, vielleicht auch Farben unterscheiden. Ganz gewiß kann er aber nur ein Merkmal für einen einzigen Ort besitzen. Es gibt also in seiner Merkwelt nur einen Ort, solange er den Sehfühler ruhig hält.

Die Pilgermuschel besitzt 100 Augen, von denen ein jedes ein gutes Bild in seiner Netzhaut aufzunehmen vermag. Das einfache Zentralnervensystem ist aber nicht in der Lage, die einzelnen Netzhautbilder zu verwerten, wie es unser Gehirn tut. Die Muschel unterscheidet daher nicht 100 Bilder, sondern nur 100 Orte, die alle in einer Reihe liegen.

Um einen Grad höher steht das Auge der Schnecken. Es vermag einige 100 Orte, die in einer Kugelschale um das Tier angebracht sind, zu fassen. Aus diesen Orten lassen sich nur ganz primitive Formen aufbauen, die als Flächen wir-



ken und gemeinsam ein Feld bilden, das je nach der Beleuchtung hier Helligkeiten, dort Dunkelheiten aufweist. Das genügt aber, um das Tier zu orientieren. Auf diese Weise scheinen sich alle höheren Mollusken in ihrer Umwelt zurechtzufinden.

Jeder Ort vermittelt nur einen einzigen Eindruck. Einzelheiten, die sich innerhalb der von einem Ort gedeckten Fläche der Umwelt befinden, werden nicht auf das Tier wirken. Die Merkmale in einer ortearmen Welt werden sämtlich eine beträchtliche Größe besitzen müssen. Ein menschlicher Finger ist für eine Schnecke nur in der Nähe sichtbar.

Diese *konstitutionelle Ortarmut* einer Umwelt wird nun häufig von der Organisation eines anderen Tieres ausgenutzt. Die Fliegen besitzen zwar eine Umwelt, die reicher an Orten ist als die der Schnecken, aber auch sie ist immer noch relativ ortearm. Das ermöglicht es den Spinnen, ein Netz zu bauen, dessen einzelne Fäden so dünn sind, daß sie in der Umwelt der Fliegen nicht zum Merkmal werden. Infolgedessen weicht die Fliege dem Spinnennetz im Fluge nicht aus, sondern wird von ihm gefangen.

Auch wir Menschen haben unter unserem Ortarmangel zu leiden, denn wir trinken das Wasser, in dem sich kleinere Schädlinge, wie z. B. Cholerabazillen, befinden, völlig ungewarnt. Erst das Vergrößerungsglas, das uns die Fähigkeit verleiht, viele Orte auf einer kleinen Fläche zu vereinigen, verwandelt die Bakterien in Merkmale des Menschen.

Bisher haben wir nur auf die Merkmale und ihre Einordnung in die verschiedenen Seifenblasen geachtet. Das Bild der Umwelt bleibt aber unvollständig, wenn man sich nur mit der *Merkwelt* befaßt. Es fehlt das notwendige Komplement — die *Wirkungswelt*. Denn ein jedes Tier übt, nachdem es die Wirkung von einem Merkmal empfangen hat, eine Gegenwirkung in seiner Umwelt aus. Diese Gegenwirkung des Tieres ist ebenso spezialisiert, wie die Wirkung, die vom Merkmal ausging. Um dieser Tatsache auch im Wort gerecht zu werden, will ich von *Wirkmalen* des Tieres sprechen.

Nehmen wir an, ein Fuchs habe einer Gans den Hals durchbissen, und betrachten wir nacheinander die Umwelt des Fuchses und der Gans. In der Umwelt des Fuchses hat das Gegacker der Gans als Merkmal gedient. Das Wirkmal der darauf einsetzenden Handlung ist sehr deutlich als Abdruck seiner Zähne dem Gänsehals aufgedrückt.

Nun zur Gans. Das plötzliche Erscheinen eines rötlichen Gegenstandes hat ihr als Merkmal gedient. Darauf hat sie sich zur Flucht gewandt und die Wirkmale ihrer Füße dem Staub der Straße eingepreßt. Hätte sie sich in den Stall flüchten können, so wären diese Wirkmale wirksam genug gewesen, um den Fuchs aus ihrer Umwelt loszuwerden.

Darin besteht nämlich der Erfolg einer jeden

Tierhandlung, daß das Objekt, welches als Merkmalträger diente, aus der Umwelt verschwindet. Ob die Wirkmale, die das Tier hinterläßt, dabei dem verschwindenden Objekt direkt beigebracht werden oder sonstwie auftreten, ist nebensächlich. Immer kann man das verschwindende Objekt, wenn auch nicht als Wirkmalsträger, so doch als *Wirkungsträger* bezeichnen.

Das gibt uns die Möglichkeit, eine jede Tierhandlung auf das untenstehende einfache Schema (Fig. 1) eines Funktionskreises zurückzuführen. Das Schema versteht sich leicht. Wir sehen links das Gefüge des Tierkörpers, speziell des Nervensystems, das sich in ein Merknitz und ein Wirkungsnetz gliedert. Auf der oberen Seite läuft es als Fuge aus (Sinnesorgan oder Receptor), auf der unteren Seite endet es als Zapfen (Handlungsorgan oder Effektor). Rechts liegt das Objekt, das einerseits als Merkmalträger dient und daher einen Zapfen bildet, andererseits die Wirkung empfängt (Wirkungsträger) und daher daselbst als Fuge gezeichnet werden muß. Zwischen Fuge und Zapfen befindet sich das Gegengefüge

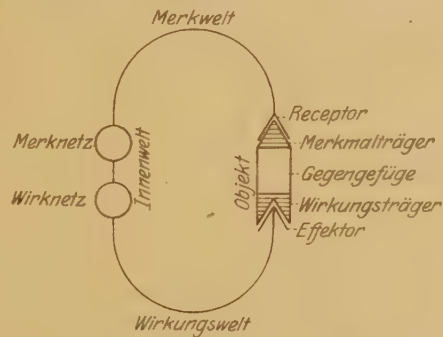


Fig. 1. Schema des Funktionskreises.

des Objektes, das nicht in die Umwelt des Tieres eintritt, das aber nötig ist, um Zapfen und Fuge miteinander zu verbinden. Denn das wichtigste biologische Gesetz besagt: *Merkmalträger und Wirkungsträger in der Umwelt eines jeden Tieres sind immer an das gleiche Objekt gebunden.*

Diese Erkenntnis bietet den Schlüssel zu der ganzen *Einpassungslehre*. Denn es ist ohne weiteres klar, daß, wenn das Merkmal, das auf das Tiersubjekt einwirkt, eine Handlung auslösen würde, die in keiner Beziehung zum Merkmal stünde, von einer Einpassung der Tiere in ihre Umwelt keine Rede sein könnte.

Statt dessen erkennen wir überall die genaueste Einpassung der Lebewesen in die Objekte ihrer Umwelt, die immer die Ausbildung eines Funktionskreises ermöglicht, der Subjekt und Objekt verbindet. Wenn das Objekt selbst ein Lebewesen ist, dann ist der gleichzeitige Einblick in die beiden Umwelten außerordentlich reizvoll.

Ich nehme als Beispiel einen Schmetterling, das Abendpfaunaugen, und einen Sperling. Der Sperling ist darauf eingestellt, die plötzlich aus dem Gebüsch auftauchenden Augen einer Katze

mit sofortiger Flucht zu beantworten. Das dient dem Abendpfauenauge zum Vorteil, denn auf das Merkmal, das der heranfliegende Sperling in seiner Umwelt auslöst, läßt er sein Wirkmal in Tätigkeit treten und entfaltet seine mit Augenflecken gezierten Flügel, worauf der Sperling die Flucht ergreift wie vor den Augen einer Katze.

Hier erkennt man deutlich, wie die Natur Merkmal und Wirkmal verschiedener Welten gleichmäßig zu überschauen vermag. Zugleich lehrt uns dies Beispiel eine weitere Tatsache, die für die Erkenntnis der meisten Tierwelten grundlegend ist. Der Schmetterling sieht mit seinen Augen sein eigenes Wirkmal gar nicht, das er so erfolgreich gegen den Feind spielen läßt. *Die Wirkungswelt eines jeden Tieres bildet immer eine naturgegebene Ergänzung zu seiner Merkwelt, die durch einen von aller Erfahrung des Tieres unabhängigen Bauplan miteinander verbunden sind.* Die Wirkmale treten mit vollkommener Sicherheit in Tätigkeit, auch wenn sie niemals zu Merkmalen des Subjektes werden. Selbst wenn seine eigenen Wirkmale vom Schmetterling bemerkt würden, könnte ihm das niemals die Erfahrung übermitteln, die der Sperling mit Katzen gemacht hat. Und doch wird die Eigentümlichkeit der Sperlingsumwelt, mag sie von Anfang an gegeben oder durch Erfahrung erworben sein, in der Umwelt des Schmetterlings verwertet.

Auch die Mücke, die sich auf unsere Haut setzt, worauf ihr Stachel sein Wirkmal in unseren blutgefüllten Geweben hinterläßt, empfängt gar kein Merkmal vom Blut, das sie in sich hineinpumpt, sondern nur von unseren Hautdrüsen, deren Duft ihr als Merkmal dient, um herbeizufiegen und ihren Stachelapparat spielen zu lassen. Die Hautdrüsen als Merkmalsträger und das Blut als Wirkungsträger sind durch das anatomische Gegengefüge unserer Haut miteinander verbunden, das gänzlich außerhalb jeder Merkmöglichkeit für die Mücke gelegen ist.

Das gleiche gilt für das Gegengefüge der Raupe, die der Wespe als Beute dient. Der Wirkungsträger, der vom Wespenstachel getroffen wird, ist der Nervenknoten, den kein menschlicher Anatom, der den Raupenorganismus durch Jahre studiert hat, mit der gleichen Sicherheit treffen könnte wie der Wespenstachel, der durch ein geheimnisvolles Merkmal an der Raupe geleitet wird, das die Natur selbst dem Bauplan der Wespe eingefügt hat.

Wie gewinnt die Natur diese, alle menschlichen Fähigkeiten überragende Einsicht in die verschiedenen Baupläne der Tierkörper und Tierwelten, die es ihr ermöglicht, die verschiedensten Baupläne ineinander zu verketten?

Bei Betrachtung der Schnecken konnten wir feststellen, daß ihre Merkwelt in eine geringe Anzahl von Orten zerfiel. Von der Zahl und Größe dieser Orte sind die Bilder abhängig, die die Merkwelt darbieten kann. Das gleiche gilt für die Fliege, die immer noch so große und we-

nig zahlreiche Orte besitzt, daß die Spinne einen Faden zu spinnen vermag, der für die Fliege unsichtbar bleibt.

Sind nun die *Wirkmale*, die die Fliege ihrer Umwelt aufdrückt, ebenfalls von der Größe und Zahl der Orte abhängig, wie ihre *Merkmale*? Keineswegs. Die Fußsohlen der Fliegen tragen ganz feine Jalousien, die für gewöhnlich flach anliegen, beim Auftreten des Fliegenfußes aber sich aufrichten und winzige luftleere Räume bilden, die es der Fliege ermöglichen, selbst auf den glatten Fensterscheiben umherzulaufen. Diese Jalousien spotten in ihrer Feinheit den groben Untersuchungsmöglichkeiten der Fliegenmerkwelt und ihre Wirkmale können niemals zu Merkmalen für die Fliege werden. Sind sie doch selbst unserem unbewaffneten Auge unsichtbar.

Wenn wir unsere Werkzeuge herstellen, sind diese in ihrer Bauart immer an unsere menschliche Merkfähigkeit gebunden. Sie können nicht feiner gemacht werden, als es die Kleinheit und die Zahl der Orte gestattet, die unsere Merkwelt beherbergt.

Von dieser Beschränkung ist die Natur frei: *Sie schafft wohl Merkwelten, aber sie selbst bedarf dazu keiner.* Unsere Auffassung der die Weltmittelpunkte bildenden Subjekte als Augen der Natur war daher voreilig. Die Natur sieht zwar die Fülle von Merkwelten und ihre Grenzen, aber sie wird nicht von ihnen begrenzt. Sie kann wohl mit all den tausend Augen sehen, aber sie sieht auch die Augen selbst.

Die Folgen aus dieser Feststellung sind sehr bedeutsam. Nicht allein bedarf die Natur keiner *effektorischen (ausführenden)* Mittel, um das Gefüge der Lebewesen zu bauen (wie wir unsere Hände brauchen, um menschliche Dinge herzustellen), sie bedarf aber auch keiner *receptorischen (aufnehmenden)* Mittel, um das Baumaterial kennen zu lernen, wie wir unserer Augen bedürfen, um den Stoff zu erkennen, aus dem die menschlichen Dinge hergestellt werden.

Die von uns verfertigten Gegenstände besitzen immer noch eine Menge stofflicher Eigenschaften, die nicht in das Gefüge des Gegenstandes aufgegangen sind, während bei allen Naturerzeugnissen alle Stoffe bis ins letzte Atom in das Gefüge eingegliedert sind, dem sie dienen. Auch unsere feinsten Instrumente machen, weil wir die Atomstruktur der Stoffe nicht beherrschen, immer den Eindruck von Pfscherarbeit gegenüber allen Erzeugnissen der lebenden Natur. Man braucht nur einen der haardünnen Seeigelstachel unter dem Mikroskop zu betrachten, um sich zu überzeugen, daß er alle gotischen Türme an feiner Ziselierarbeit und Schwung der Linien übertrifft.

Es macht den Eindruck, als brauche die Natur nur zu rufen und alle Atome ordnen sich von selbst. In der Tat ist das der Sinn, wenn wir von *Naturgesetzen* reden. *Es sind Befehle der Natur, denen auch das letzte Atom unweigerlich gehorcht.*



Wie ein dilettantischer Größenwahn nimmt sich demgegenüber die Lehre des *Darwinismus* aus, der die bis ins letzte durchziselirten Organe aller Lebewesen auf einen zufälligen Zusammenstoß sinnlos umeinander tanzender Teilchen zurückführen will.

Aber auch die Lehre von einem zwar ins Ungeheure gesteigerten, aber immer noch nach Menschenart arbeitenden Weltenschöpfer, der erst erkennen muß, um handeln zu können, fällt in sich zusammen.

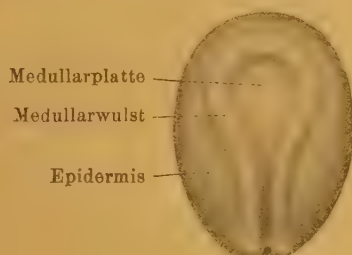
Jede menschliche Handlung setzt sich aus *Merken* und *Wirken* zusammen. Die Handlungen der Natur kennen diese Unterscheidung nicht. Aber ganz töricht ist es deshalb, die Naturhandlungen als ein bloßes Wirken ohne Merken anzusprechen, wie das gewöhnlich geschieht. Die Natur ist, um mit *Driesch* zu reden, „wissende Wirklichkeit“.

(Fortsetzung folgt.)

## Über die Harmonie des tierischen Entwicklungsgeschehens.

Von Leopold v. Ubisch, Würzburg.

Jedem Naturforscher, der sich mit entwicklungsgeschichtlichen Fragen beschäftigt, wird sich immer wieder das reizvolle Problem aufdrängen, durch welche Faktoren die Harmonie des Geschehens bedingt ist, die schließlich zur Bildung des fertigen, in seiner Art vollkommenen Organismus führt. Diese Harmonie des Geschehens ist vielleicht am merkwürdigsten in den



Amphibienkeim

Fig. 1. Amphibienembryo mit ausgebildetem Medullarwulst. Dorsalansicht.

Fällen, in denen uns das Studium der Entwicklungsvorgänge zeigt, daß die verschiedenen Teile, die schließlich zur Bildung eines einheitlichen Organes dienen, in frühen Entwicklungsstadien voneinander räumlich getrennt sind und erst später zu einem einheitlichen Gebilde zusammentreten<sup>1)</sup>. Als Beispiel hierfür diene die Entwicklung des Wirbeltierauges.

An einem jungen Amphibienkeim lassen sich in einem bestimmten Stadium zwei Bezirke unterscheiden. Der eine derselben, in Beziehung zum fertigen Organismus gebracht, dorsal gelegen, ist

<sup>1)</sup> Vgl. *Spemann*, Zum Problem der Korrelation in der tierischen Entwicklung, Verhandl. d. Deutschen zool. Ges., 17. Jahresvers., Rostock 1907.

von einem Wulst umgeben, dem sog. *Medullarwulst*, das von dem Wulst eingeschlossene Feld heißt die *Medullarplatte*. Die Ränder des Wulstes wachsen dann aufeinander zu und verlöten, so daß ein geschlossenes Rohr, das *Nervenrohr*, entsteht, das später zum Gehirn und Rückenmark wird. Der zweite Bezirk wird durch alles das dargestellt, was außerhalb der *Medullarwulste* liegt; er ist bestimmt, später die gesamte *Epidermis* des Tieres zu liefern (Fig. 1). Nachdem das *Nervenrohr* sich geschlossen hat, wird es von der vorher seitlich der *Medullarwulste* gelegenen *Epidermis*

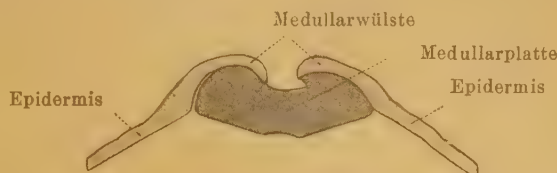


Fig. 2. Querschnitt durch das hintere Ende der Medullarplatte. Nach *Hertwig* (Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte).

überwachsen und dadurch in die Tiefe verlagert (Fig. 2 u. 3). Das *Nervenrohr* gliedert sich im Laufe der weiteren Entwicklung in einen vorderen breiten Teil, der zum Gehirn wird, und einen

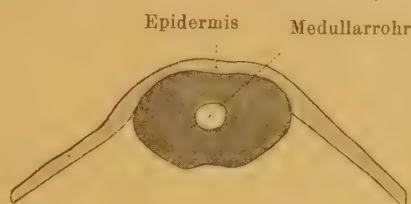


Fig. 3. Querschnitt. Medullarplatte zum Nervenrohr eingerollt. Die Epidermis hat dasselbe überwachsen und dadurch in die Tiefe versenkt. Nach *Hertwig* (Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte).

hinteren schmälere, der das Rückenmark zu liefern bestimmt ist. Die Gehirnlage gliedert sich infolge verschieden intensiven Wachstums ihrer einzelnen Bezirke zunächst in die primären Hirnblasen und später weiter in die definitiven Abschnitte des Gehirns.

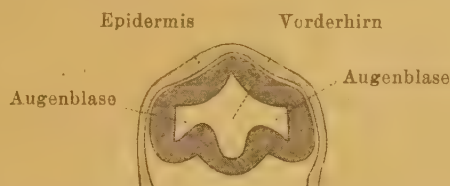


Fig. 4. Horizontalschnitt durch das Vorderhirn. Augenblasen bereits angelegt. Nach *Hertwig* (Handbuch der Entwicklungslehre).

Uns interessiert hier nur die vorderste Blase, das Vorderhirn, von dem aus sich zwei seitliche Ausstülpungen, die Augenblasen, bilden. Ihr Lageverhältnis zur Epidermis zeigt Fig. 4. Die Augenblasen stülpen sich mit ihrer distalen Wand in sich selbst zurück, wodurch ein becherförmiges Gebilde entsteht, der Augenbecher. In diesen senkt sich die darüberliegende Epidermis ein,

um sich dann zu einem Bläschen abzuschließen, der späteren Linse (Fig. 5 u. 6). Das definitive Auge wird also aus Teilen der beiden oben erwähnten Bezirke zusammengesetzt, Teilen, die zunächst voneinander getrennt an der Oberfläche des Keimes liegen und erst später miteinander in Berührung und innige Beziehung treten. Versuche, auf die ich später näher eingehen werde, haben gezeigt, daß bei gewissen Amphibien nur eine ganz bestimmte Stelle des epidermalen Keimbezirks, eben die, welche in der normalen Entwicklung über den Augenbecher zu liegen kommt, zur Bildung der Linse befähigt ist.

Dieses Beispiel zeigt die Harmonie des Geschehens, es erklärt aber nicht, wodurch dieselbe gewährleistet wird.

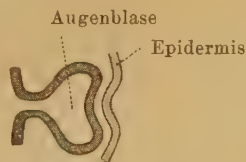


Fig. 5. Horizontalschnitt durch die rechte Augenblase. Augenbecher im Beginn der Bildung. Entsprechende Einbuchtung der Epidermis: Beginn der Linserbildung. Nach Hertwig (Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte).



Fig. 6. Horizontalschnitt durch den rechten Augenbecher. Linse kurz vor der Abschnürung vor der Epidermis. Nach Hertwig (Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte).

Als ein besonders wichtiger Faktor hierfür haben sich Beziehungen der Teile zueinander erwiesen. Auch hierfür ein einfaches Beispiel. Das befruchtete Ei eines Seeigels teilt sich in 2, 4, 8 usw. Zellen und schließlich entsteht eine Larve und ein fertiger Seeigel. Trennen wir aber im Zweizellenstadium die beiden ersten Blastomeren, so entwickelt sich jede derselben ebenfalls zu einer vollständigen Larve, die natürlich nur halb so groß als normal ist. Dieser Versuch zeigt, daß jede  $\frac{1}{2}$ -Blastomere potentiell befähigt ist, einen Ganzembryo zu liefern, und, worauf es uns ankommt, daß, wenn sie normalerweise nur die Hälfte eines solchen liefert, das unter dem Einfluß der anderen  $\frac{1}{2}$ -Blastomere geschieht. Andererseits zeigt der Versuch aber auch, daß die  $\frac{1}{2}$ -Blastomere, um sich zu einem harmonischen Ganzen zu entwickeln, nicht des Einflusses der anderen  $\frac{1}{2}$ -Blastomere bedarf, daß sie also, wie man sich ausdrückt, zur Entwicklung durch Selbstdifferenzierung befähigt ist.

Ein besonders schönes Beispiel für Selbstdifferenzierung ist von Herbst<sup>2)</sup> und von Driesch<sup>3)</sup>

<sup>2)</sup> Herbst, Experimentelle Untersuchungen ü. den Einfluß der veränderten chem. Zusammensetzung des umgebenden Mediums auf die Entwicklung der Tiere, 2. Teil. Weiteres über die morphol. Wirkungen der

aufgedeckt worden. Wenn sich am jungen Seeigelkeim der After und Darm durch den Gastrulationsvorgang gebildet hat, so senkt sich dem freien Ende des Darmes, das sich der Larvenepidermis nähert, eine grubchenförmige Einstülpung dieser letzteren entgegen (Fig. 7). Darmende und Grübchen verschmelzen mit ihren Wänden miteinander, es kommt zu einem Durchbruch des Darmlumens in das Grübchen, und der Mund der Larve ist damit entstanden.

Es war nun die Annahme naheliegend, daß die Einsenkung des Mundgrübchens unter dem Einfluß des sich der betreffenden Stelle der Epidermis nähernden Darmendes vor sich geht. Durch geeignete Maßnahmen gelang es Driesch und Herbst zu verhindern, daß sich überhaupt ein Darm im Innern der Larve bildete, und es ergab sich nun, daß sich dann das Mundgrübchen trotzdem einsenkte, obgleich es natürlich nicht zur

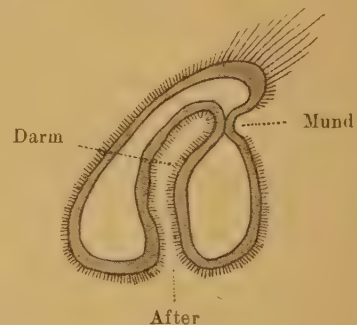


Fig. 7. Medianschnitt durch eine Seeigellarve. Mundbucht und Urdarm vor der Verschmelzung. Nach Herbst (kombiniert).

Funktion gelangen konnte. Es handelt sich also um eine typische Selbstdifferenzierung.

Als Beispiel für abhängige Differenzierung diene uns wiederum die Linsenbildung am Amphibienembryo, und zwar an *Rana fusca*. Zerstört man bei diesem Tier den embryonalen Augenbecher, bevor derselbe in Konnex mit der Epidermis kommt, so wird überhaupt keine Linse gebildet. Hier ist also die Linsenbildung abhängig von einem vom Augenbecher ausgehenden „formativen Reiz“.

Wenn man also die Entwicklungsvorgänge einteilen kann in solche, die unabhängig und andere, die abhängig verlaufen, so entsteht die Frage, ob beide Arten von Bildungsvorgängen nicht in einer historischen Beziehung zueinander stehen, etwa in der Weise, daß ursprüngliche Selbstdifferenzierungen im Laufe der stammesgeschichtlichen Entwicklung in Abhängigkeit voneinander geraten sind oder umgekehrt ursprünglich abhängige Entwicklungsvorgänge

Lithiumsalze u. ihre theoretische Bedeutung. Mitt. a. d. zool. Stat. zu Neapel, 11. Bd., 1895, S. 203.

<sup>3)</sup> Driesch, Entwicklungsmech. Studien VII. Exogastrula u. Anenteria (üb. d. Wirkung von Wärmezufuhr auf die Larvenentwicklung der Echiniden, ebenda im selben Bande, S. 225.



schließlich unabhängig und zu Selbstdifferenzierungsvorgängen wurden.

Diese Frage ist vielfach diskutiert worden. Wir wollen hier dem von Dürken<sup>4)</sup> entwickelten Gedankengange folgen. Dürken geht davon aus, daß Beobachtungen, wie z. B. die oben erwähnte, nach der die  $\frac{1}{2}$ -Blastomere eines Seeigelkeimes imstande ist, einen Ganzembryo zu liefern, beweisen, daß die Kernteilungen qualitativ gleiches Material auf beide Tochterkerne übertragen, also, wie man sich ausdrückt, erbgleich sind. Würde bei der Kernteilung erbungleich geteilt, würde also dem einen Tochterkern etwas fehlen, was der andere besitzt, so wäre allerdings nicht zu verstehen, daß jede Tochterblastomere „alles“ liefern kann, es müßte ein Defekt entstehen. Aus dieser qualitativ gleichen Kernteilung folgert Dürken, daß die weitere Entwicklung „unter gegenseitiger Beeinflussung der Teile ablaufen muß, denn dadurch allein kann dann die Realisierung nur eines Teiles der Potenz“ (der Blastomere) „erreicht werden“.

Wenn sich, wie wir gesehen haben, tatsächlich Fälle von Selbstdifferenzierung finden, so schließt Dürken, daß „sekundär die den Prozeß dirigierenden Abhängigkeiten durch andere Faktoren ersetzt sind, daß also die Selbstdifferenzierung der sekundäre Modus ist“. Diese und die weiteren Ausführungen Dürkens, denen ich übrigens voll beipflichte, sind rein spekulativer Natur. Auch die Tatsache, daß manchmal bei nahe verwandten Formen das eine Mal abhängige, das andere Mal Selbstdifferenzierung vorhanden ist, wofür wir später ein Beispiel kennen lernen werden, macht es lediglich höchst wahrscheinlich, daß beide Entwicklungsmodi aufeinander zurückzuführen sind, entscheidet aber nicht die Frage, welcher von beiden der primäre ist.

Eine solche Entscheidung würde aber dann möglich sein, wenn es gelänge, experimentell Verhältnisse zu schaffen, die zu abhängigen Entwicklungsvorgängen führen, und zwar an Tieren, die oder deren nahe Verwandte bei normaler Entwicklung einen ähnlichen Geschehensablauf in Form von Selbstdifferenzierung zeigen.

Diesen Bedingungen genügen bis zu einem gewissen Grade zwei Arbeiten, deren Zusammensetzung zunächst nur durch eine äußerliche Ähnlichkeit berechtigt erscheint.

Taube<sup>5)</sup> stellt sich die Frage, ob die Gewebe ausgebildeter Tiere noch umbildungsfähig sind, wie es besonders die Untersuchungen von Speemann für embryonale Zellbezirke erwiesen haben. Als Versuchsobjekt dienen Taube verschiedene Tritonarten, besonders Triton alpestris, und im speziellen wird untersucht, „ob der spezifische Charakter der Haut eines ausgebildeten Tieres schon für jeden Körperabschnitt vollkommen fest-

<sup>4)</sup> Dürken, Einführung in die Experimentalzoologie, Berlin 1919.

<sup>5)</sup> Taube, Regeneration mit Beteiligung ortsfremder Haut bei Tritonen, Arch. f. Entw.-Mech. Bd. 49, 1921.

gelegt“ ist. Zu diesem Zweck transplantiert Taube auf das vorher enthäutete rechte Hinterbein, dessen Hautfarbe normalerweise dunkel ist, eine Manschette, für die das Material von der leuchtend roten Bauchhaut geliefert wird. In diesem Fall ist also die Frage, wie sich die rote Bauchhaut in der neuen Umgebung verhält, und es möge hier gleich gesagt werden, daß von der proximal und distal angrenzenden in situ belassenen dunklen Beinhaut aus Pigment in das Transplantat einwandert und dasselbe so allmählich wenigstens äußerlich in dunkle Beinhaut umwandelt.

Wichtiger ist für uns ein zweiter Versuch Taubes. Nach Einheilung der roten Bauchhautmanschette, aber bevor dieselbe mit Pigment versehen ist, amputiert Taube den Fuß innerhalb der Manschette. Es wird nun ein Fuß regene-



Fig. 8. Rückenansicht eines Molches. Rechtes Hinterbein nach Amputation des Fußes enthäutet und mit Bauchhautmanschette (weiß) versehen. Normal gefärbtes Füßchen in Regeneration. Nach Taube.

riert, dessen innerer Teil von dem alten Bein, dessen Haut aber von der transplantierten Bauchhaut geliefert wird. Wird die Haut des Regenerates rot, also Bauchhaut, oder schwarz, also Beinhaut sein?

Es ergibt sich, daß die Haut des Regenerates von vornherein pigmentiert ist. Das Regenerat ist also imstande, die neu von der transplantierten Bauchhaut aus entstehende Haut so zu modifizieren, daß sie der Neubildung völlig entspricht, also typische Beinhaut wird (Fig. 8).

Diese Versuche zeigen, wie sich die Bauchhaut und von ihr ausgehende Neubildungen verhalten, wenn sie aus ihrer natürlichen Umgebung losgelöst ist und fremden Einflüssen ausgesetzt wird.

Eine weitere Reihe von Versuchen sollte zeigen, wie sich die Bauchhaut verhält, wenn sie in ihrer natürlichen Lage belassen wird, und dort fremde Einflüsse auf sie einwirken. Die Methode war folgende: Das rechte Hinterbein eines Triton wurde in der Fußwurzelgegend amputiert und dann an dem übrig bleibenden Stumpf die Haut von der Basis des Beines bis zur Amputationsstelle abgetragen. Hierauf wurde „in der

Nähe der Hinterbeine ein Hautschnitt quer über den Bauch gemacht. Ein weiterer Schnitt verläuft an der rechten Seite des Bauches, beginnend vom rechten Ende des Querschnittes. Beide Schnitte sind ungefähr 1 cm lang und stehen senkrecht zueinander. Beginnend von dem Punkte ihres Zusammentreffens wird die Haut nach links vorn noch möglichst weit unterminiert.“ Dann wird das enthäutete Bein ohne Fuß in diese Tasche geschoben und die Taschenränder wieder vernäht. „Bei gelungener Operation lag dann das Ende des Beinstumpfes genau in der Mittellinie des Bauches. Von dem Stumpf aus regeneriert dann ein neuer Fuß, der also scheinbar aus dem Bauch hervorwächst. Vorher aber trat eine Bildung in Erscheinung, die für uns der Anlaß ist, auf *Taubes* Arbeit einzugehen.

Wenige Tage nach der Operation trat über

daher zunächst ein Teil der Bauchhaut zerstört und dann das Regenerationsgewebe wie im vorigen Versuch beeinflusst.

Die zweite Arbeit, die hier herangezogen werden soll, stammt von *Braus*<sup>9)</sup>. Bei den Unkenlarven entwickelt sich die vordere Extremität nicht oberflächlich am Körper, sondern liegt zunächst in einer Tasche, die von den beiderseitigen Kiemendeckeln gebildet wird. In dem Maße, in welchem die Extremität heranwächst und entsprechend mehr Raum beansprucht, buchtet sie die äußere Wand des „Kiemensacks“ mehr und mehr vor. Die Wand wird über dem auswärts gekehrten Ellenbogen der Extremität sehr gespannt und so stark verdünnt, daß sie durchsichtig geworden und zuletzt schwer wahrnehmbar ist. Es erfolgt dann plötzlich der

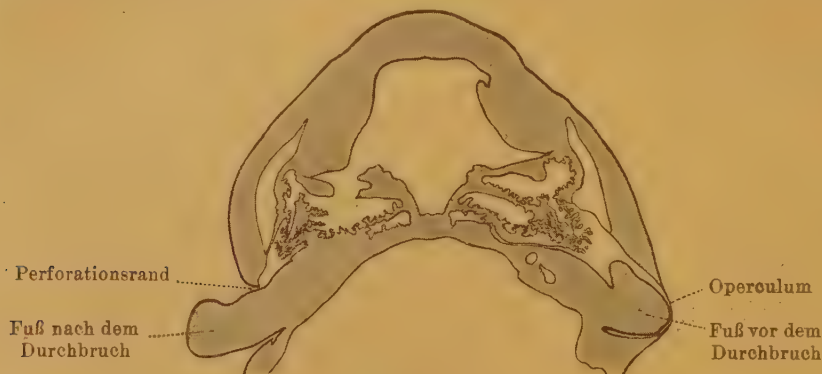


Fig. 9. Horizontalschnitt durch den Kopf einer Unkenlarve. Rechtes Vorderfüßchen im Begriff das zu einer dünnen Lamelle gedehnte Operculum zu durchbrechen. Links Durchbruch vollendet. Nach *Braus*.

dem Ende des Implantats in der bisher vollkommen unverletzten Bauchhaut eine kleine Wunde auf. „Die Wunde ist anfangs sehr klein, kann sich aber vergrößern.“ „Bald nachher beginnt die Heilung auch dieser Wunde.“

Worauf es uns also ankommt, ist, daß unter dem Einfluß der durch die Operation bewirkten Beinverlagerung ein Loch in der Bauchhaut auftrat. Dieses Loch wird dann von pigmentlosem Regenerationsgewebe geschlossen, das später die Haut des regenerierenden Fußes zu liefern bestimmt ist. Das Loch ist also eine Bildung, die mit der Fußbildung zu tun hat, seine Entstehung ist abhängig von der experimentellen Verlagerung des Beines, es ist ein typisches Beispiel experimentell erzeugter abhängiger Differenzierung. In beiden Versuchsserien *Taubes* ist also das Regenerat befähigt, die Bauchhaut resp. ihre Derivate in der Weise zu verändern, daß ihm entsprechende Haut entsteht.

Beim mit Bauchhautmanschette versehenen amputierten Bein geschieht dies durch direkte Beeinflussung des regenerierenden Hautgewebes. Beim amputierten unter die Bauchhaut verlagerten Bein ist die Umwandlung der unverletzten Bauchhaut nicht ohne weiteres möglich, es wird

Durchbruch“, und der Fuß wird durch das so im Operculum (Kiemendeckel) gebildete Loch hindurch frei (Fig. 9).

Der ganze Vorgang, besonders die Dehnung der Operculumwand über dem Ellenbogen und der dort erfolgende plötzliche Durchbruch machen ganz den Eindruck, als wenn das Loch unter dem Einflusse des heranwachsenden Füßchens gebildet würde, also eine abhängige Differenzierung sei, ähnlich wie bei der Bildung des Loches in der Bauchhaut über dem regenerierenden Fuß in *Taubes* Versuch, wenn man auch bei letzterem mehr an einen physiologischen, bei der Durchstoßung des Operculums an einen mechanischen Reiz denken wird.

Bestärkt wird dieser Eindruck durch weitere Versuche von *Braus* (l. c.) und *Banchi*<sup>7)</sup>. *Braus* transplantierte eine vordere Extremität von *Bombinator* zwischen Nase und Auge unter das Inte-

<sup>9)</sup> *Braus*, Vordere Extremität und Operculum bei *Bombinator*larven. Ein Beitr. z. Kenntnis morphogener Korrelation u. Regulation. *Braus*, Experim. Beitr. z. Morphol. Bd. 1, Heft 2, Leipzig 1906.

<sup>7)</sup> *Banchi*, Sviluppo degli arti pelvici del *Bufo vulgaris* innestati in sede anomala, Arch. Anat. Embriol. Vol. IV, Florenz 1905 (auch *Monitore*, Anno XV, 1904) zit. nach *Braus*.



gument, *Banchi* eine hintere Extremität von *Bufo vulgaris* unter das Operculum. In beiden Fällen kam es schließlich zu einem Durchbruch der Extremität nach außen, in *Banchis* Versuch entsprechend der vorgenommenen Transplantation an einer anderen Stelle des Operculums, als an der die Perforation seitens der normalen vorderen Extremität gebildet wird. In diesen Fällen fand also die Perforation an einer Stelle statt, wo sie im normalen Entwicklungsgang nie vorkommt, es handelt sich also unzweifelhaft um eine durch das Wachstum der transplantierten Extremität bewirkte Differenzierung.

Und doch zeigen die weiteren Versuche von *Braus*, daß die normale Bildung des Perforationslochs keine abhängige Differenzierung ist. *Braus* exstirpierte nämlich unter Schonung des Kiemendeckels die Extremitätenanlage und fand, daß dann doch, obgleich keine Extremität vorhanden war, die charakteristische Verdünnung des Operculums an der normalen Stelle auftrat, ja in einem Teil der untersuchten Fälle sich auch das Perforationsloch bildete, wenn es auch, was wichtig ist, kleiner blieb als normal.

Wir haben es also mit einer typischen Selbstdifferenzierung zu tun, genau wie bei der Einstülpung des Echinidenmundes, die oben beschrieben wurde.

Von besonderem Interesse für unsere weiteren Betrachtungen sind die Vorstellungen, die sich *Braus* über das Entstehen dieser Selbstdifferenzierung macht. *Braus* hält sich zu der Annahme berechtigt, „daß die Extremitäten der Anuren weit ältere Bildungen als die Peribranchialhöhle sind, also in einer Periode der Stammesgeschichte bereits existierten, als noch kein Operculum vorhanden war“. Ferner glaubt er aus nicht näher zu besprechenden Gründen annehmen zu dürfen, daß die Tendenz vorhanden ist, die vordere Extremität in eine mehr cranial belegene Position zu verlagern. Schließlich wäre denkbar, daß das Operculum in einem früheren phylogenetischen Entwicklungszustand nicht so weit nach hinten reichte wie jetzt, daß aber die Tendenz zu einer solchen caudalwärts gerichteten Vergrößerung bestand. Die Folge dieser beiden gegeneinander gerichteten Lageverschiebungen mußte notwendig sein, daß die Extremität in „Berührung mit dem freien Opercularrand trat und damit eine zunächst schwache, dann immer stärker werdende Incisur erzeugt wurde. Dieselbe wäre allmählich vom caudalen Rand des Operculum, und zwar in dem Maß, als sich die in entgegengesetzter Richtung vordringenden beiden Gebilde (Opercularrand und Extremität) stärker überkreuzten, in die Substanz der äußeren Wand des Peribranchialraumes eingedrungen und dadurch zu einem allseitig von Operculargewebe umgrenzten Foramen geworden . . .“ „Ist dies der phylogenetische Hergang gewesen, so wären in der heutigen Ontogenese die anfänglichen Etappen dieses Vorgangs dadurch in Wegfall gekommen, daß das

Operculum früher über den Standort der Gliedmaße hinwegwächst als in der Phylogenie: Das Endstadium der historischen Etappenstraße, die lochförmige Perforation, wäre allein sichtbar geblieben.“

Diese Erklärung, wenn sie zutrifft, zeigt uns also, wie infolge von Entwicklungsveränderungen ein Kompromiß geschlossen werden muß, d. h. eine abhängige Differenzierung entsteht. Und darin sehe ich das eigentliche Vergleichsmoment mit *Taubes* Versuch. Was die Natur bei Bombinator nach *Braus'* Annahme bewirkt hat, die Lageveränderung des Beines unter ein Gewebe, das dann durchbrochen werden muß, um die Extremität zu freier Bewegung gelangen zu lassen, das hat ähnlich, nur sehr viel gröber, *Taube* im Experiment tatsächlich erreicht. Es wäre ja durchaus denkbar, daß auch bei Triton die natürliche phylogenetische Entwicklung die Tendenz annähme, die hintere Extremität oder wenigstens ihre mesodermalen Anlagen mehr cranialwärts zu verlegen. Dann würde derselbe Konflikt mit der bereits differenzierten Bauchhaut eintreten, wie im Experiment und die Umwandlung derselben in eine für eine junge Extremität geeignete Bedeckung in irgendeiner Form erfolgen müssen. Würde schließlich diese Extremitätverlagerung phylogenetisch festgelegt, so wäre es sehr möglich, daß nach experimenteller Entfernung der inneren Anlage der Extremität die Veränderungen der Haut nunmehr trotzdem erfolgten, also als Selbstdifferenzierung wie bei dem Perforationsloch von Bombinator.

Von diesem Gesichtspunkt aus lassen sich die Beobachtungen von *Braus*<sup>9)</sup> und *Taube* in eine

<sup>9)</sup> Kürzlich hat *Maurer* (Zur Frage von der Erwerbung erworbener Eigenschaften, Anat. Anz. Bd. 54, 1921) in gewisser Weise an den Untersuchungen von *Braus* Kritik geübt. *Maurer* scheint nicht zu verstehen, warum es dem Entwicklungsmechaniker eine gewisse Schwierigkeit bereitet, sich vorzustellen, auf welchem Wege eine ursprünglich abhängige Differenzierung zu einer Selbstdifferenzierung wird. Besonders der Satz von *Braus*: „Die Natur macht das halt“, den ich übrigens in *Braus'* Arbeit nicht finden kann, erregt seinen Anstoß. *Maurer* erklärt den Vorgang höchst einfach damit, daß der stammesgeschichtlich erste Durchbruch das Werk der Extremität sei, der dann aber im Lauf der Zeit zu einer im normalen Lebenslauf erworbenen Eigenschaft (und damit nach *Maurer* offenbar erblich gewordenen!) geworden sei. Ich betrachte es nicht als meine Aufgabe, die damit aufgeworfene Frage der Vererbung erworbener Eigenschaften zu diskutieren oder *Maurers* Kritik zu kritisieren, um so mehr, als dieselbe erstens schon eine Entgegnung von *Bromann* (Zur Frage der Gen-Neubildung und der Vererbung erworbener Eigenschaften, Anat. Anz. Bd. 54, Nr. 20/21, 1921) veranlaßt hat und zweitens *Maurer* selbst sagt, daß man ihm einwenden könne, „das sei keine Beweisführung und erkläre gar nichts, denn ein mechanischer Grund für die Bildung jenes Loches sei notwendig zum Verständnis“. Aber *Maurer* fährt dann fort: „Nun, erstens muß man sich vor der Tatsache beugen . . .“ Ich muß gestehen, daß es mir nicht gelungen ist, den Wesensunterschied zwischen diesem letzten Satz von *Maurer* und dem von ihm beanstandeten von *Braus*: „Die Natur macht das halt“ zu erkennen.

Parallele bringen zu den schon zitierten Untersuchungen über die Linsenbildung an anderen Amphibien.

Diese Versuche<sup>9)</sup> ergaben des näheren folgendes:

1. Entfernt man bei *Rana fusca* den embryonalen Augenbecher, bevor die Linse angelegt wird, so kommt keine Linse zur Entwicklung<sup>10)</sup>.

2. Macht man denselben Versuch bei *Bombinator pachypus*, so entstand in einigen Fällen trotzdem eine, wenn auch unvollständige, Linse<sup>11)</sup>.

3. Wiederholt man den Versuch an *Rana esculenta*, so entstand trotzdem eine normale Linse<sup>12)</sup>.

In einer zweiten Versuchsreihe wurde nun der Augenbecher unversehrt gelassen, dafür aber die normalerweise die Linse bildende Haut entfernt und dafür ein Stück Kopf- oder Rumpfhaut implantiert und untersucht, ob diese ortsfremde Haut unter dem Einfluß des Augenbeckers eine Linse zu bilden befähigt ist.

Die Versuche ergaben:

1. Transplantierte man bei *Rana esculenta* an die betr. Stelle, so wurde trotz Vorhandensein des Augenbeckers keine Linse gebildet.

Transplantierte man bei demselben Objekt Kopfhaut, so war das Resultat ebenso negativ.

2. Transplantierte man bei *Bombinator pachypus* Bauchhaut, so wurde keine Linse gebildet, nahm man dagegen Kopfhaut, so entstand eine Linse.

3. Für *Rana fusca* steht meines Wissens der entsprechende Versuch aus. Dagegen ist er an *Hyla arborea*<sup>13)</sup> gemacht worden, bei der sowohl aus Rumpf- wie aus Kopfhaut eine Linse gebildet wurde.

Ich fasse der besseren Übersicht halber die Resultate nochmals in einer Tabelle zusammen:

*Augenbecher entfernt*

1. *Rana fusca* ..... keine Linse entwickelt
2. *Bombinator pachypus* unvollständige Linse entwickelt
3. *Rana esculenta* ..... normale Linse entwickelt

*Augenbecher belassen*

- |  |           |   |                  |
|--|-----------|---|------------------|
| 1a. ( <i>Rana fusca</i> ?) <i>Hyla</i> |           |   |                  |
| <i>arborea</i> .....                   | Kopfhaut  | — | Linse gebildet   |
|  | Rumpfhaut | — | " "              |
| 2a. <i>Bombinator</i>                  |           |   |                  |
| <i>pachypus</i> .....                  | Kopfhaut  | — | " "              |
|  | Rumpfhaut | — | keine Linse geb. |
| 3a. <i>Rana esculenta</i> .....        | Kopfhaut  | — | " " "            |
|  | Rumpfhaut | — | " " "            |

<sup>9)</sup> *Spemann*, Zur Entwicklung des Wirbeltierauges, Zool. Jahrb., Abt. IV, Allg. Zool. u. Phys., Bd. 32, 1912.

<sup>10)</sup> Entsprechende Ergebnisse zeitigten Versuche an *Rana sylvatica* und *Amblystoma punctatum*.

<sup>11)</sup> Dasselbe ergab sich für *Rana palustris*.

<sup>12)</sup> Dasselbe gilt für *Salmo* und *Fundulus*.

<sup>13)</sup> *Ekman*, Experimentelle Beiträge zum Linsenbildungsproblem bei den Anuren, mit besonderer Berücksichtigung von *Hyla arborea*, Arch. f. Entwickl.-Mech. Bd. 39, 1914.

Daraus ergeben sich interessante Beziehungen:

1. Bei *Hyla arborea* (*Rana fusca*?) ist die gesamte Haut des Tieres imstande, eine Linse zu liefern. Damit sie aber entstehe, bedarf es des Einflusses des Augenbeckers.

2. Bei *Bombinator pachypus* ist die Fähigkeit zur Linsenentwicklung nicht mehr eine so allgemeine, sondern schon auf einen kleineren Bezirk, den der Kopfhaut, eingeschränkt. Dieser schärferen Begrenzung der Linsenbildungsfähigkeit entspricht aber auch eine schärfere Tendenz zur Bildung der Linse, so daß selbst nach Entfernung des Augenbeckers unter Umständen eine Linse wenigstens angelegt wird. Damit die Linse aber normal zur Ausbildung kommt, bedarf es doch schließlich der Einwirkung des Augenbeckers.

3. Bei *Rana esculenta* ist die Linsenbildungsfähigkeit der Haut schließlich auf die eigentlich linsenbildende Stelle beschränkt. Diese Stelle bildet nun aber auch eine Linse unter allen Umständen und bedarf des Augenbeckers nicht mehr. Wollen wir in diese Reihe die Objekte von *Braus* und *Taube* einfügen, so würde der Versuch von *Taube*, der sich, wie wir sahen, dem Neuauftreten einer abhängigen Differenzierung vergleichen läßt, unter 1 (*Hyla arborea*) einzureihen sein, der Versuch von *Braus* an *Bombinator* dagegen unter 2 (*Bombinator pachypus*), denn wie dort bei Fehlen des Augenbeckers eine unvollkommene Linse, so entsteht hier bei Fehlen der Extremität entweder nur eine Verdünnung des Operculums oder eine unvollkommene Perforation.

*Bombinator* nimmt also nun schon in dreifacher Hinsicht eine Mittelstellung ein: 1. Die Linsenbildungsfähigkeit ist nicht mehr auf die ganze Haut verbreitet, auch noch nicht auf den linsenbildenden Bezirk beschränkt, sondern vielmehr auf die Kopfhaut eingeschränkt. 2. Die Linsenbildung unterbleibt bei Fehlen des Augenbeckers nicht, sie bedarf aber auch dieses Anreizes nicht unbedingt, sie wird vielmehr bei Fehlen des Augenbeckers wenigstens eingeleitet. 3. Die Perforation des Operculums kann auch ohne Vorhandensein der Extremität eingeleitet werden, aber sie bleibt unvollkommen.

Es wäre nun von großem Interesse, zu wissen, ob *Rana esculenta* und *Rana fusca* die extreme Stellung, die sie für die Linsenbildung als abhängige oder Selbstdifferenzierung zeigen, auch bezüglich der Perforation des Operculums einnehmen.

Tatsächlich hat *Braus*<sup>14)</sup> für *Rana esculenta*, die ja bezüglich der Linsenbildung an dem Ende unserer Reihe stand, das durch Selbstdifferenzierung charakterisiert ist, gefunden, daß die Perforation des Operculums bei Fehlen der Extremität „fast annähernd so groß ist, wie wenn eine normale Gliedmaße vorhanden wäre“ (S. 247).

<sup>14)</sup> *Braus*, Über die Gesetzlichkeit der Körperform, Verhandl. des naturhistorisch-med. Vereins Heidelberg, Neue Folge XIV, 2, 1920.



Ob, wie wir danach fast erwarten dürfen, die Perforation bei *Rana fusca* nach Entfernung der vorderen Extremität ganz unterbleibt, ist leider nicht untersucht.

Die verschiedenen verglichenen Versuchsreihen zeigen uns also mit seltener Klarheit den Weg, den die Natur eingeschlagen hat, um die Harmonie des Geschehens zu sichern. Zunächst sind die Bildungen, die zur Herstellung dieser Harmonie erforderlich sind, voneinander abhängig, und eben diese Abhängigkeit garantiert das Resultat. Nachdem sich aber im Laufe der Stammesgeschichte die harmonische Entwicklung durch gegenseitige Beeinflussung geregelt hat und die Potenz zur Bildung bestimmter Anlagen auf die betr. Bezirke beschränkt ist, wird auch die Unabhängigkeit des betr. Bildungsvorganges von anderen ermöglicht.

Schließlich deuten die Untersuchungen wenigstens im gewissen Ausmaß die zunächst nicht ohne weiteres selbstverständliche Erscheinung an, daß dieser Übergang von der abhängigen zur Selbstdifferenzierung sich nicht für jede Organanlage besonders vollzieht, sondern daß der ganze Organismus sich für sehr verschiedene Bildungen auf einem einheitlichen Differenzierungsstadium (phylogenetisch gesprochen) — abhängig, teilweise abhängig, unabhängig — befindet.

Da so verschiedene Entwicklungsvorgänge, wie z. B. die Linsenbildung und die Opercularperforation, offensichtlich in keinem direkten Zusammenhang stehen, so wäre die nächste Aufgabe, den übergeordneten Faktor zu suchen, der bewirkt, daß bei einer bestimmten Tierart mehrere voneinander unabhängige Entwicklungsvorgänge gleichmäßig entweder durch Selbstdifferenzierung oder durch abhängige Differenzierung oder schließlich durch halb abhängige Differenzierung verlaufen.

Dieser Faktor ist bis jetzt nicht bekannt. Immerhin scheint sich aber ein Weg zu öffnen, um bei Verfolg dieser Frage einen Schritt weiter zu kommen. *Korschelt* und *Heider*<sup>15)</sup> machen darauf aufmerksam, daß bei den Formen, deren Furchung einen ausgesprochen determinativen Charakter aufweist, „die Stadien der Embryonalentwicklung sehr rasch durchlaufen werden“, im Gegensatz also zu den Formen, deren Furchung nicht determinativ vor sich geht.

Ich verdanke Herrn Prof. *Schleip* den Hinweis darauf, daß sich analoge Verhältnisse für die Embryonalentwicklung der Amphibienformen, die uns hier beschäftigt haben, nachweisen lassen.

Über Laichzeit und Entwicklungsdauer bis zum Schlüpfen der Larven finden sich bei *Dürigen*<sup>16)</sup> folgende Angaben:

|                             | Laichzeit | Entwicklung |
|-----------------------------|-----------|-------------|
| <i>Rana fusca</i> .....     | März      | 21—23 Tage  |
| <i>Hyla arborea</i> .....   | Mai       | 10—14 „     |
| <i>Bombinator pachypus</i>  | Juni      | 5— 7 „      |
| <i>Rana esculenta</i> ..... | Mai/Juni  | 6— 7 „      |

Es erscheint auf den ersten Blick bedenklich, die Zahlenangaben für die Entwicklung ohne weiteres miteinander zu vergleichen, da die Entwicklungsgeschwindigkeit der Frösche<sup>17)</sup> wie aller Organismen<sup>18)</sup> in hohem Maße von der jeweiligen Temperatur abhängig ist und diese bei der Entwicklung der genannten Formen je nach dem Laichmonat verschieden ist. Aber uns beschäftigt hier nicht die Frage, wie sich ein Amphibium bei anderer Temperatur als der normalen entwickeln würde, sondern ob zwischen der nun einmal bestehenden normalen Entwicklungsgeschwindigkeit und dem Entwicklungsmodus eine sichtbare Beziehung besteht. In dieser Hinsicht ergibt die Tabelle tatsächlich, daß die Formen mit Selbstdifferenzierung eine erheblich schnellere Entwicklung durchlaufen als die andere Gruppe. Man könnte auch hier sagen wie *Korschelt* und *Heider* an der zitierten Stelle: „Man gewinnt den Eindruck eines mit größerer Präzision arbeitenden Mechanismus.“

Es erscheint ja sehr einleuchtend, daß Organismen, deren einzelne Organe sich unabhängig voneinander entwickeln, diese Entwicklung schneller durchlaufen können als diejenigen, bei denen Abhängigkeit vorherrscht. Die einzelnen Vorgänge brauchen, sozusagen, nicht aufeinander zu warten. Jedoch stimmt diese Vorstellung mit den Tatsachen nicht überein. So wird z. B. bei den Formen, deren Linse unabhängig vom Augenbecher gebildet wird, dieselbe bei normaler Entwicklung zeitlich doch erst dann gebildet, wenn sich der Augenbecher der Epidermis nähert. Daher ist es durchaus verständlich, daß, als *Speimanns* Versuche an *Rana fusca* zuerst die Abhängigkeit der Linsenbildung vom Augenbecher gezeigt hatten, man sich berechtigt glaubte, dieses Resultat als für alle Amphibien gültig anzusehen. Erst die weiteren Versuche an anderen Formen ergaben, daß ein Kausalzusammenhang zwischen Augenbecherbildung und Linsenentwicklung nicht zu bestehen braucht.

Ein Kausalzusammenhang zwischen Entwicklungstempo und abhängiger resp. unabhängiger Entwicklung ist mir vorläufig nicht ersichtlich, aber, wenn ein solcher, wie doch sehr wahrscheinlich, anzunehmen ist, so verstehen wir wenigstens, daß in einem Organismus je nach dem Entwicklungstempo dieselbe Differenzierungsform für

<sup>15)</sup> *Korschelt* und *Heider*, Lehrbuch der vergl. Entwicklungsgeschichte, Allg. Teil III.

<sup>16)</sup> *Dürigen*, Deutschlands Amphibien und Reptilien, Magdeburg 1897.

<sup>17)</sup> *Hertwig*, O., Über den Einfluß der Temperatur auf die Entwicklung von *Rana fusca* und *Rana esculenta*, Arch. f. mikr. Anat. Bd. 51, 1898.

<sup>18)</sup> *Kanitz*, Temperatur und Lebensvorgänge, Berlin 1915.

verschiedene Organsysteme vorherrschen muß<sup>19)</sup>. Die Abhängigkeit der Differenzierungsform vom Entwicklungstempo würde ferner verständlich machen, daß nahe verwandte Formen bezüglich der Differenzierungsvorgänge außerordentlich voneinander abweichen, da ja auch das Entwicklungstempo bei ganz nahe verwandten Formen äußerst verschieden ist, wie die obige Tabelle zeigt. Sind wir so einen Schritt weiter gekommen, so stehen wir dafür allerdings vor einem neuen Problem: von welchen im Keim selbst zu suchenden Verhältnissen hängt das Entwicklungstempo ab? Es würde jedoch zu weit führen, hier auf diese interessante Frage näher einzugehen.

Wenn wir also höchstwahrscheinlich machen konnten, daß der stammesgeschichtliche Weg von der abhängigen zur Selbstdifferenzierung führt, so dürfen wir doch nicht vergessen, daß die Behauptung, in einem gewissen Fall finde Selbstdifferenzierung statt, stets nur eine relative Bedeutung hat. Sagen wir z. B. auf Grund der Experimente von *Driesch* und *Herbst* aus, daß die Mundeinstülpung der Seeigellarve Selbstdifferenzierung sei, so ist darunter zu verstehen: im Hinblick auf eine mögliche Abhängigkeit vom Darm. Oder dem Satz: Bei *Rana esculenta* wird die Linse durch Selbstdifferenzierung gebildet — ist, wenn man sich korrekt ausdrücken will — hinzuzufügen: d. h. unabhängig vom Augenbecher, der, wie wir wissen, bei anderen Amphibien zur Linsenbildung in Beziehung steht. Es ist aber keineswegs damit gesagt, daß eine Selbstdifferenzierung aus sich heraus ohne jeden fremden Anstoß entsteht. Tatsächlich ist es nicht vorstellbar, daß ein Vorgang ohne causa zustande kommt. Wenn also auch z. B. für *Rana esculenta* nachgewiesen ist, daß der Augenbecher zur Linsenbildung nicht erforderlich ist, so muß man sich doch fragen, was bewirkt nun, daß zu gegebener Zeit an der ganz bestimmten Stelle eine Linse gebildet wird?

Wie uns die Spemannschen Untersuchungen gezeigt haben, sind embryonale Bezirke, die später zu verschiedenen Bildungen determiniert und differenziert werden, ursprünglich undeterminiert und in ihren einzelnen Teilen gleichwertig. Bei *Hyla arborea* bleibt jedenfalls bis zur Zeit der Linsenbildung die gesamte Epidermis linsenbildungsfähig, ist also in dieser Hinsicht überall qualitativ gleichwertig. Der Anstoß zur definitiven Linsenbildung muß von anderer Seite kommen, vom Augenbecher. Bei *Bombinator pachypus* tritt aber schon vor der im normalen Entwicklungsverlauf eintretenden Linsenbildung eine Differenzierung der Epidermis in zwei Bezirke auf, die sich eben darin äußert, daß der eine, die

Kopfepidermis auch weiterhin linsenbildungsfähig ist, der andere, die Rumpfepidermis, dagegen nicht. Das legt doch den Gedanken nahe, daß eben dieser Differenzierungsakt den Anstoß zur Linsenbildung abgibt, daß sich der entstandene Gegensatz zwischen linsenbildungsfähigen und nichtfähigen Gewebe in dem Beginn der Linsenbildung auslöst, und zwar an der Stelle, die in bezug auf Linsenbildungsfähigkeit am stärksten determiniert ist.

Noch intensiver würde sich das bei *Rana esculenta* zeigen, bei der die Linsenbildungsfähigkeit durch Differenzierungsvorgänge auf einen sehr kleinen Bezirk beschränkt wird, der dann durch das qualitativ nunmehr differente umliegende Gewebe zur Bildung einer vollständigen Linse veranlaßt wird. Ebenso könnte man sich denken, daß an der Pluteuslarve ursprünglich die ganze Larvenhaut qualitativ gleich war, dann aber eine Differenzierung in mundbildungsfähige und nichtfähige Bezirke eintrat und der letztere im ersten die Bildung des Mundes auslöste.

Es ist nur noch die Frage zu erörtern, ob wir Grund zuder Annahme haben, daß das Entstehen eines Differenzierungsgegensatzes innerhalb eines ursprünglich einheitlichen Keimbezirkes zur auslösenden Ursache eines Entwicklungsvorganges werden kann. Tatsächlich haben neuere Untersuchungen<sup>20)</sup> es wahrscheinlich gemacht, daß wenigstens in gewissen Fällen zur Aktivierung vorhandener Entwicklungspotenzen die stoffliche Beeinflussung seitens eines von dem sich entwickelnden differenten Gewebes nötig ist. Damit komme ich zu der am Anfang unserer Betrachtung aufgestellten Frage zurück, durch welche Faktoren die Harmonie des Entwicklungsgeschehens gewährleistet wird. Es ist einleuchtend, daß die Abhängigkeit verschiedener Entwicklungsvorgänge voneinander eine gewisse Garantie für die harmonische Entwicklung der Teile bietet. Aber die weiteren Überlegungen zeigen, daß auch, nachdem aus der abhängigen Entwicklung Selbstdifferenzierung geworden war, Einrichtungen vorhanden sind, die den harmonischen Ablauf der Entwicklungsvorgänge regeln.

## Besprechungen.

**Przibram, H., Methodik der Experimentalzoologie.** (Handbuch der biolog. Arbeitsmethoden, herausgegeben von *Abderhalden*; Abt. IX: Methoden zur Erforschung der Leistungen des tierischen Organismus, Teil 1, Heft 1.) Wien, Urban & Schwarzenberg, 1921. 96 S. Preis M. 15,—.

Von dem großangelegten *Abderhaldenschen* Handbuch liegen nun schon mehrere Lieferungen vor, welche sich mit den biologischen Wissenschaften befassen. Während im allgemeinen der Inhalt dieser Hefte sich mit der Technik der Versuche und Untersuchungen

<sup>19)</sup> Es könnte sich vielleicht als sehr lohnend erweisen, zu untersuchen, ob der Differenzierungsmodus (abhängig — unabhängig) der Linse sich ändert, wenn man die betr. Embryonen bei anormaler Temperatur aufzieht.

<sup>20)</sup> v. *Uebisch*, Über die Aktivierung regenerativer Potenzen, Arch. f. Entw.-Mech. Bd. 50, 1922.



beschäftigt, behandelt das vorliegende Heft die allgemeine Methodik, vor allem im Hinblick auf die Experimentalzoologie im eigentlichen Wortsinne, d. h. die Entwicklungsmechanik. Es hat von vornherein einen großen Reiz, die Anschauungen eines bekannten und erfahrenen Forschers über die anzuwendende Methode kennen zu lernen; denn ohne Methodik ist auch die glänzendste Technik nicht in der Lage, die Wissenschaft wirklich zu fördern.

Nachdem das Wesen der Experimentalzoologie als „die Wissenschaft von den durch Versuche ermittelten Gesetzmäßigkeiten tierischer Formen und Vorrichtungen“ bestimmt ist, wobei die einfach beschreibende Funktionsphysiologie nicht miteingerechnet wird, behandelt Verf. die Problemstellung. Es folgen Abschnitte über Objektwahl, Ausschaltung subjektiver Irrtümer, Deduktion und Induktion, mathematische Genauigkeit und analytische Versuche. Ferner werden besprochen die Ökonomie des Arbeitens, die Bedeutung der Analogie und der Modelle, die künstliche Umwelt, die Untersuchung der inneren Faktoren der Entwicklung. Den Schluß bilden drei Abschnitte, die sich mit den zoologischen Stationen, der Organisation der Experimentalzoologie und der literarischen Bearbeitung beschäftigen.

Sowohl der Fortgeschrittene wie auch der Anfänger findet in den einzelnen Abschnitten wertvolle Ratsschläge und zuverlässige Vorschriften. Der Wert dieser Ausführungen wird dadurch nicht aufgehoben, daß der kritische Leser einiges beanstanden wird.

Die Gesamtdarstellung läßt trotz des offensichtlichen Strebens nach Objektivität eine gewisse subjektive Färbung erkennen. Das ist an sich durchaus kein Nachteil, zuweilen direkt ein Vorteil, namentlich dann, wenn es für den Leser gilt, seine eigenen Auffassungen, die naturgemäß auch immer ein subjektives Moment enthalten, auf ihre Stichhaltigkeit kritisch zu prüfen. Eine solche Prüfung wird am besten vorgenommen durch Vergleich mit dem methodischen Standpunkt eines anderen, und gerade die Verschiedenheiten, welche ihren Grund in der subjektiven Auffassung hier wie dort haben, fordern zum kritischen Durchdenken auf.

In einigen Abschnitten ist „allgemeine Methodik“ und „Technik“ nicht scharf auseinandergehalten worden, und manchen Einzelheiten in anderen Abschnitten wird man nicht ohne weiteres zustimmen können; so z. B. wenn der Verfasser schreibt (S. 10): „Wir kennen nämlich gegenwärtig keine Eigenschaft, welche uns das „Leben“ gegenüber dem nicht Lebendigen mit Sicherheit unterscheiden ließe“ usw. Hier ist doch wohl die Lösung des Problems, worin das Wesen des Lebens besteht, also des Hauptproblems der Biologie überhaupt, vorweg genommen. Wir sind noch lange nicht so weit, die Antwort auf diese Frage gefunden zu haben. Der im obigen Satz zum Ausdruck kommende Standpunkt kann heutzutage noch gar nicht von einem vorurteilslosen Forscher eingenommen werden; es handelt sich lediglich um eine subjektive Auffassung, die *methodisch* unzulässig ist. Ein Ausfluß der gleichen nicht ganz vorurteilslosen Anschauung ist die wohl etwas übertriebene Bewertung der anorganischen Analogie. Damit soll nicht gesagt sein, daß Analogien überflüssig wären; sie können auch namentlich didaktisch — darin hat der Verfasser recht — sehr wertvoll sein, wenn auch vor allem beim Lernenden die große Gefahr besteht, Analogie mit Homologie zu verwechseln. Aber keinesfalls darf die Analogie so weit

getrieben werden, daß sie von der Homologie nicht mehr zu unterscheiden ist. Analogie und Homologie besagen in diesem Zusammenhang natürlich etwas anderes als die gleichen Bezeichnungen der vergleichenden Anatomie.

Wer *Przibrams* Anschauungen kennt, wird nicht überrascht sein, daß er den lebenden Organismus einem Kristall analog setzt und alles, was wir am Organismus finden, am Kristall wiederfindet. Abgesehen davon, daß Kristall und Organismus nur oberflächliche Ähnlichkeiten aufweisen und die Analogisierung im einzelnen, wie *Przibram* sie will, nur möglich ist, wenn man seine Anschauungen über Wesen der Differenzierung, der Regeneration, des Wachstums usw. voraussetzt, hat man bei der Lektüre des vorliegenden Heftes den Eindruck, daß Verfasser im Grunde keine Analogie, sondern eine Homologie meint. „Der einzige jetzt noch aufrechterhaltbare Unterschied zwischen den . . . Kristallen . . . und den Organismen besteht in der Homogenität der ersteren, in der Differenzierung der letzteren usw.“ (S. 51). Eine solche Stellungnahme ist für eine *Methodik* unzulässig, denn sie ist nicht vorurteilsfrei; sie nimmt die Beantwortung des noch zu lösenden Problems bereits vorweg. Da Verfasser das offenbar sehr wohl einsieht, ergeben sich an Widerspruch grenzende Unstimmigkeiten. Es würde zu weit führen, an dieser Stelle auf die sachliche Seite der Frage „Kristall und Lebewesen“ näher einzugehen. Jedenfalls ist es verfehlt, die Beantwortung derselben in dem vom Verf. mit Eifer verfochtenen Sinne zur Grundlage einer Methodik zu machen, die frei sein muß von Vorurteilen. Die sachliche Seite der Frage gehört übrigens in eine Methodik wohl überhaupt nicht hinein.

Es wären noch einige Einzelheiten aufzuzählen, in denen man dem Verf. nicht ohne weiteres zustimmen kann. Im ganzen genommen aber ist es zu begrüßen, daß in dem der „Technik“ gewidmeten Handbuch dieser Abschnitt über Methodik enthalten ist.

B. Dürken, Breslau.

**Krehl, Ludolf, Pathologische Physiologie.** Elfte Auflage. Leipzig, F. C. W. Vogel, 1921. XIX, 695 Seiten. Preis geb. M. 100,—; geb. M. 125,—.

Wieder liegt eine neue — die elfte — Auflage des Werkes vor, mit dem *Krehl* der große Wegzeiger für die Pathologische Physiologie geworden ist. Eine Anzeige über dieses Ereignis muß in erster Linie die Freude darüber zum Ausdruck bringen, daß die Mediziner so lebhaft die Lehren aufnehmen, die ihnen in diesem Buch von höchster Werte physiologischer Kenntnisse und klinischer Erfahrung aus geboten werden. — Ist doch die neue Auflage zwei Jahre nach der letzten nötig geworden — und muß weiter den Dank betonen, den alle, die sich mit Physiologie befassen, dem Schöpfer dieses Werkes dafür wissen müssen, daß er in rastloser Arbeit es immer wieder nach den neuesten Erfahrungen der Forschung umgestaltet. Meist werden Lehrbücher im Laufe der Auflagen immer stärker. Das ist diesmal gegenüber der letzten Auflage nicht der Fall, es ist vielmehr eine Verringerung des Umfanges eingetreten. Zum kleinen Teil ist sie durch Fortfall des Registers bewirkt, zum größeren durch Zusammenfassung der Darstellung. Das zeigt am besten, wie gründlich die neue Auflage wieder durchgearbeitet worden ist. Auf den Inhalt der 11 Kapitel einzugehen, in denen *Krehl* die pathologische Physiologie der einzelnen Organe und Funktionen behandelt, kann nicht der Zweck dieser

Zeilen sein. Besonders fesseln wieder die Einleitung und das Schlußkapitel, in denen *Krehl* Gelegenheit findet, zu Fragen von allgemeinsten Bedeutung Stellung zu nehmen. In ihrem Mittelpunkt steht die Frage nach der Persönlichkeit. *Krehl* führt aus: „Der Mensch ist eine Einheit und dieser Mensch erkrankt. Die alte Pathologie rechnete allein mit einem Kranksein des ganzen Organismus als einer Einheit. Gewiß setzt sich der Körper aus Organsystemen zusammen. Wenn aber die gegenwärtige Pathologie eigentlich nur die Erforschung von Störungen der Gewebe und ihrer Korrelation betreibt, so übersieht sie aber — in voller Übereinstimmung mit vielfach gepflegter Forschungsrichtung in der Physiologie — das Wesentliche der Einheit aller Gewebe und Zellen in der Persönlichkeit.“ „... hier scheiden sich die Geister. Hier geht es meiner festen Überzeugung nach nicht mehr ohne „Philosophie der Natur“. Nur wenn dieser nach der Sitte viel verlästerte Begriff in unzertrennlicher Verbindung mit induktiver Forschung wieder in seine Hoheitsrechte eingesetzt wird, kommen wir für diese Fragen weiter. Denn „ob hier das Ganze — in unserem Falle die Persönlichkeit — ein zu den einzelnen wahrgenommenen Teilen hinzu Gedachtes ist“ oder ob der Mensch als Einzelwesen etwas völlig Neues, Eigenartiges, den Teilen Übergeordnetes darstellt: das wäre die Grundfrage, und diese ist meines Erachtens nicht zu lösen allein durch die herrschenden Begriffe physikalischer und chemischer Forschung.“

Das sind Worte, die noch vor nicht gar langer Zeit im Munde eines Naturforschers und Arztes unerhört gewesen wären, Worte, die auch heute noch vielleicht mehr Widerspruch als Billigung in den Fachkreisen finden werden, die aber an eine heranwachsende Generation gerichtet ihre Wirkung nicht verfehlen werden.

A. Pütter, Bonn a. Rh.

**Buchner, Paul, Tier und Pflanze in intrazellulärer Symbiose.** Berlin, Gebr. Borntraeger, 1921. XI, 462 Seiten mit 103 Abbildungen und 2 Tafeln. Preis geh. M. 114,—.

In den letzten Jahren haben unsere Kenntnisse der Erscheinungen intrazellulärer Symbiose eine ungeahnte Bereicherung erfahren. Während sie sich vorher im wesentlichen auf das Vorkommen von Algen bzw. Flagellaten (den sogen. Zoochlorellen oder Zooxanthellen) in andern Protozoen, in Cölenteraten und Würmern beschränkten, hat sich die Forschung erst in der Neuzeit den vor allem bei den verschiedensten Insekten weit verbreiteten Symbionten aus den Gruppen der Hefen, Bakterien und Pilze intensiver zugewandt und hier bereits eine Fülle der interessantesten biologischen und morphologisch-entwicklungsgeschichtlichen Beobachtungen machen können. Das *Buchnersche* Werk gibt uns nun zum ersten Male eine zusammenfassende und wohl im wesentlichen erschöpfende Darstellung dieses ganzen Gebietes und ermöglicht es damit auch dem der Symbiontenforschung fernher Stehenden, einen Einblick in die hier bisher erzielten Ergebnisse wie auch in die zunächst der Lösung harrenden Probleme zu gewinnen.

Zunächst werden die Symbiosen der Protozoen, Schwämme, Cölenteraten und Würmer mit Zoochlorellen und Zooxanthellen eingehend geschildert. Hinweise auf entsprechende Beobachtungen bei Bryozoen, Echinodermen und Mollusken schließen sich an. Der zweite Hauptabschnitt bringt eine übersichtliche und klare Darstellung der intrazellulären Symbiose bei Insekten. Wir sehen ihre weite Verbreitung und die

mannigfachen Formen ihrer Ausgestaltung von der einfachen Aufnahme von Symbionten in Darmzellen bis zur Ausbildung besonderer komplizierter Organe — Mycetome — als Wohnstätte dieser Gäste, Organe, die z. T. schon lange bekannt waren, aber erst durch die moderne Symbiontenforschung dem Verständnis erschlossen wurden. Und ebenso finden wir die vielfach variierenden Formen der Übertragung der Symbionten von Generation zu Generation und ihr Verhalten im Verlauf der Ontogenese ausführlich geschildert. Zahlreiche neue Beobachtungen des Verfassers und seiner Schüler sowie die eingehende Berücksichtigung der zerstreuten und unter den heutigen Verhältnissen in Deutschland zum Teil nur schwer erhältlichen Literatur der letzten Jahre machen diesen Abschnitt besonders wertvoll.

Viel Neues enthält auch das anschließende interessante Kapitel, das der Leuchtsymbiose gewidmet ist. Auf Grund eingehender Analyse der Leuchterscheinungen bei Leuchtkäfern, Pyrosomen und Cephalopoden sucht *Buchner* hier in Übereinstimmung mit *Pierantoni* den Nachweis zu führen, daß das sogenannte „tierische“ Leuchten überall durch symbiontische Bakterien bzw. Pilze bedingt sei: Die Leuchtorgane stellen sich bei allen daraufhin genauer untersuchten Arten als Pilzorgane, Mycetome, dar, ganz analog den zuvor bei den verschiedensten Insekten beschriebenen Bildungen. Und dort, wo an Stelle streng lokalisierter Leuchtorgane ein diffuses Leuchten auftritt, wie z. B. bei manchen Eiern, lassen sich auch überall verteilte Mikroorganismen nachweisen! In manchen Fällen konnten auch Leuchtbakterien herausgezüchtet werden. Die bisher vorliegenden Beobachtungen sprechen somit durchaus zugunsten der Anschauungen von *Buchner* und *Pierantoni*, durch die die Probleme des „tierischen“ Leuchtens natürlich sehr vereinfacht und vereinfacht werden.

Immerhin ist aber darauf hinzuweisen, daß die Untersuchung und Beweisführung auf diesem Gebiete, wie auch bei der Erforschung der Insektensymbionten ganz allgemein, bisher fast ausschließlich eine morphologische war. Physiologische und experimentelle Untersuchungen liegen noch kaum vor — ein Mißverhältnis, das gerade bei einer zusammenfassenden Darstellung der Symbioseerscheinungen besonders stark entgegnet. Daher erfahren wir vorerst nur wenig über die Symbionten selbst und ihre Leistungsmöglichkeiten und so gut wie nichts Sicheres über ihre Rolle im Stoffwechsel des Wirtsorganismus. In vielen Fällen sollen sie sonst unverwertbare Nahrungsquellen, z. B. Zellulose, dem Wirt erschließen, in anderen — ähnlich den Symbionten in den Knöllchen der Leguminosen — als Stickstoffquelle dienen. Doch all das sind vorläufig nur Vermutungen oder Wahrscheinlichkeitsschlüsse, aber noch keine gesicherten Forschungsergebnisse. Ja streng genommen erscheint daher in den meisten Fällen nicht einmal die Symbiontennatur dieser intrazellulären Mikroorganismen bewiesen, solange der physiologische Nutzen der Gäste für den Wirtsorganismus noch nicht klargestellt ist, sondern nur aus den morphologisch-entwicklungsgeschichtlichen Erscheinungen (der Ausbildung der Pilzorgane und der Sicherung der Übertragung auf die Nachkommen) heraus postuliert wird — Einrichtungen, die dem Wirt zum Teil wenigstens auch aufgezwungen sein könnten!

Es muß aber betont werden, daß diese Lücken nicht etwa Schuld der Darstellung des Autors sind, sondern



nur die notwendige Folge der bisher etwas einseitig morphologischen Bearbeitung dieses jungen Forschungsgebietes. Im Gegenteil sucht gerade das *Buchnersche* Werk die wenigen vorliegenden physiologischen Feststellungen nach Möglichkeit hervorzuheben und andererseits auch auf die Fülle der noch ungeklärten Probleme hinzuweisen. So wird es sicherlich besonders dazu beitragen, daß nunmehr nach der morphologisch-entwicklungsgeschichtlichen Vorarbeit die notwendigen experimentellen Untersuchungen bei der Symbioseforschung intensiver in Angriff genommen werden und uns ein tieferes Verständnis dieses vor allem auch wegen der mannigfach auftretenden komplizierten Anpassungserscheinungen allgemein biologisch interessanten Gebietes ermöglichen. Und ist dann eine Einsicht auch in die physiologischen Wechselbeziehungen der in Symbiose lebenden Tiere und Mikroorganismen gewonnen, dann fallen ohne weiteres „Irrwege der Symbiontenforschung“ fort wie die Aufsehen erregenden Hypothesen *Portiers* über die Symbiontennatur der Mitochondrien und ihren Zusammenhang mit den Vitaminproblemen; Hypothesen, die in einem letzten Abschnitt des Buches eingehend behandelt und als völlig haltlos zurückgewiesen werden.

V. Jollos, Berlin-Dahlem.

**Klatt, Berthold, Studien zum Domestikationsproblem. Untersuchungen am Hirn.** (Bibliotheca Genetica, hrsg. von E. Baur, Bd. II.) Berlin, Gebr. Borntraeger, 1921. IV, 180 S., 2 Tafeln, 33 Textabbildungen und 6 Kurventafeln. Preis M. 135,—.

Die vorliegende Abhandlung ist der eingehenden Nachprüfung einer Hypothese gewidmet, die der Verf. 1912 auf Grund von Schädeluntersuchungen aufgestellt hatte: daß beim Hunde im Zusammenhang mit der Domestikation zunächst eine Verkleinerung des Hirns eingetreten sei, daß sich daran aber dann eine Wiederzunahme einzelner Hirnteile angeschlossen habe. Nach *allgemeinen methodischen Vorbemerkungen*, die sich hauptsächlich auf die Indices der Körpergröße beziehen — als besonders brauchbar erweist sich dabei der subjektive „Größeneindruck“ —, werden in drei Hauptteilen die *metrischen Feststellungen* und die *morphologischen Feststellungen* am Hirn mitgeteilt und in *theoretischen Erörterungen* allgemein ausgewertet.

Die metrischen Untersuchungen, die sich einerseits auf das Gesamthirngewicht, andererseits auf das Gewicht einzelner Hirnteile beziehen, bringen Bestätigung und Ergänzung der 1912 gewonnenen Resultate: Die Hirngewichte der großen Haushunde sind um 20 % geringer als die entsprechend großer Wölfe, die der kleinen Haushunde um 20 % größer als die gleichgroßer Schakale, die Hirngewichte einer primitiven (abessinischen) Hunderasse um 10—15 % geringer als die europäischer Rassen. Die Großhirngewichte von Wolf, Haushund und Schakal verhalten sich ebenso wie die Gesamthirngewichte; das Stirnhirn des Hundes aber wiegt mehr als das der beiden Wildformen. Bei diesen letzteren nun verkleinert sich mit sinkender Körpergröße das Stirnhirngewicht langsamer als das übrige Großhirngewicht, während dieses langsamere Abfalltempo beim Haushunde nicht bloß für das Stirnhirn, sondern in gleicher Weise auch für die übrige Hauptmasse des Hirns gilt.

Der den morphologischen Ergebnissen gewidmete Abschnitt beginnt mit einer schematischen Ableitung des Canidenhirns und bespricht, bevor er zu dem eigentlichen Vergleich der Wildhund- und Haushundhirne übergeht, ausführlich die Frage der Entstehung und

physiologischen Bedeutung der Furchen und Windungen des Großhirns, die im einzelnen für den Vergleich physiologisch auszuwerten nur von Fall zu Fall und mit Vorsicht möglich ist. Die Körpergröße beeinflusst das Hirn einmal im Sinne allgemeiner Formveränderungen, ferner, aber viel weniger deutlich, im Furchenbild; das „Darestesche Gesetz“, daß größeren Tieren ein furchenreicheres Hirn zukommt als kleineren, erweist sich als zutreffend. Geschlechts- und Rassenunterschiede lassen sich am Hirn nicht auffinden, dagegen Alterseinflüsse. Zwei verschiedene „Ausgaben“ repräsentieren die Extreme der Hirngestaltung: ein grober, „holzschnittartiger“ Typus, der überwiegenden Mehrzahl der primitiven Haushunde eigen, und ein feinerer Typus, zu dem die europäischen Hunde, die Füchse und Wölfe gehören. Die Hirnunterschiede zwischen Wild und Zahm erfahren dann eine ausführliche Darstellung: Beim Haushund ist eine Vergrößerung der vorderen Hirnhälfte, besonders des Stirnhirns, und eine Verkleinerung der hinteren Hälfte eingetreten, während die Scheitelgegend mindestens in gleicher Stärke wie beim Wildhund ausgebildet ist. Besonders furchenreich ist die vordere Hirnregion, zumal das Stirnhirn, ferner auch das Parietalhirn, und Furchenvarianten, die den Wildformen ganz oder fast ganz fehlen, zeichnen den Haushund sehr häufig aus. Der theoretische Teil stellt zunächst vom Boden der *Flehsig-von-Bechterewschen* Lokalisationsvorstellungen aus eine *Zunahme der Assoziationszentren*, eine *Abnahme dagegen der Sinneszentren für den Haushund* fest und setzt sich dann eingehend mit den Befunden und Anschauungen von *Dubois* und *Lapicque* auseinander, die das langsamere Absinken des Haushund-Hirngewichts bei sinkender Körpergröße in prinzipiell anderer Weise deuten als *Klatt*, der es einem verschiedenen Verhalten der Assoziations- und Projektionszentren bei Größenänderung des Tieres zuschreibt und mit dieser Annahme die Unterschiede in den Haushund- und Wildhundkurven erklärt. Ein endgültiges Ja oder Nein ergibt diese Auseinandersetzung nicht, vielmehr überläßt der Verf. die Entscheidung weiteren Untersuchungen; er verspricht in einer Anmerkung, demnächst selbst neues Material beizubringen und weitere Ausführungen zu dem 1918 fertiggestellten Kapitel zu geben, wobei „einige Punkte in ein etwas anderes Licht rücken dürften“. — Ein drittes theoretisches Kapitel vergleicht Menschenhirn und Hundehirn unter dem Gesichtspunkt, daß auch der Mensch in vielerlei Beziehung ein domestiziertes Tier ist. Außerordentliche Variabilität im Furchenbild des Occipitallappens, Unterentwicklung der Sehsphäre, Verschiedenheit des Furchenverlaufs zwischen rechter und linker Hemisphäre des gleichen Individuums sind solche gemeinsamen Eigentümlichkeiten; das Negerhirn hat mit dem Hirn afrikanischer Haushunde das geringere Gewicht und sehr oft jenes einfache „holzschnittartige“ Oberflächenbild gemeinsam. Das Schlußkapitel wirft die Frage der Erblichkeit für das Hundehirn auf. — Wenn auch die Ergebnisse, zu denen der Verfasser auf Grund seines von ihm selbst gesammelten und in mühevoller Durcharbeitung analysierten Materials gelangt, noch weiterer Bestätigung bedürfen, wie er es ja selber betont, so stellt seine Untersuchung doch, besonders auch in vielen Einzelheiten, eine schöne Bereicherung unserer Kenntnisse dar.

Günther Just, Berlin-Dahlem.

**Korschelt, E., Lebensdauer, Altern, Tod.** 2. Aufl. Jena, Gustav Fischer, 1922. VIII, 307 S. u. 107 Textabb. Preis geh. M. 48,—; geb. M. 58,—.

Das vorliegende, vom Verleger vorzüglich ausgestattete Werk stellt eine umfassende Umarbeitung und Erweiterung einer gleich betitelten Arbeit in der Festschrift zur Feier des siebenzigsten Geburtstages von F. Marchand dar, die 1917 erschien. — Der Autor hat es verstanden, eine gewaltige Fülle von Tatsachenmaterial und daraus hergeleiteten Anschauungen (über 300 Literaturangaben) übersichtlich zu ordnen und mit ruhiger Kritik zu sichten und damit eins jener großen Probleme zu fördern, das von jeher den Geist des Menschen rege beschäftigt hat und gerade heute wieder auf Grund neuer Forschungserfolge in der Frage der Verjüngung und Lebensverlängerung im Mittelpunkt des Interesses steht.

Durch das ganze Buch zieht sich als leitender Gedanke der der Begrenzung des Lebens der Zelle durch innere Entwicklung bis zum Tode, welcher die letzte Entwicklungsstufe darstellt. Das Leben trägt den Keim des Todes in sich und dieser wächst. Die Zelle wird abgenutzt durch die ununterbrochene Vollziehung ihrer Lebensfunktionen, sie altert, wohl hauptsächlich aus inneren Gründen, aber auch durch chronischen Einfluß äußerer schädigender Reize, indem sich die Schäden allmählich summieren. Die Alterserscheinungen sind morphologisch und physiologisch nachweisbar, wie der Verschleiß an einer abgenutzten Maschine. Aber im Gegensatz zu einer solchen vermag die Zelle sich aus sich selbst heraus zu verjüngen, ihre Vollwertigkeit zurückzuerlangen und damit die Fortdauer des Lebens für alle Zeiten zu garantieren. Sie erreicht das durch inneren Umbau (Parthenogenese), durch Teilung unter Aufgabe ihrer Individualität oder durch Konjugation, jener einfachsten Form der Befruchtung. Bei allen diesen Vorgängen verfallen jedoch gewisse Zellteile der Auflösung (Partialtod). Mit dieser Einschränkung kann von einer Unsterblichkeit der Einzelligen gesprochen werden.

Im vielzelligen Organismus dagegen erfolgt eine zunehmende Differenzierung und Spezialisierung der Zellen und Zellsysteme im Sinne der Arbeitsteilung, und damit geht Hand in Hand frühe Begrenzung und Verlust des Teilungsvermögens der Zellen und der darin gebotenen Verjüngungsmöglichkeit. Das Leben der Körperzellen ist begrenzt nach Maßgabe ihrer Differenzierung, am engsten das der höchstdifferenzierten (Nervensystem, Organe mit konstanter Zellenzahl und -ordnung). Trotz oft auffallend hoher Lebensfähigkeit altern diese Zellsysteme unaufhaltsam unter histologisch und funktionell erkennbaren Merkmalen (Alterspigment, Formänderungen, Ermüdbarkeit u. a. m.) und können den Tod des Gesamtorganismus bedingen. Der reine Alterstod ist ein „Gehirntod“, aber er ist selten gegenüber dem durch äußere Schädigungen (pathologisch) bedingten Tode, der meist auf Versagen des Herzens beruht. — Zellen und Zellsysteme altern verschieden schnell. Es entsteht eine Disharmonie in den Zellbeziehungen, die bei der engen Funktionsabhängigkeit der Körperzellen voneinander diese rückläufig schädigt. Das Zusammenspiel ist gestört, das das Leben des ganzen Systems bedingte. Der Organismus verfällt dem Tode, indem seine Zellen und Zellsysteme eins nach dem andern sterben. Der Tod entwickelt sich aus dem Leben, Nekrobiose; es gibt nicht einen Augenblick des Todeseintrittes, ebenso wenig am ganzen Organismus wie an der Einzelzelle. — Aber auch den Körperzellen bietet sich, soweit sie Vermehrungsvermögen sich bewahrt haben, die Mög-

lichkeit, durch Verjüngung den drohenden Tod hinauszuschieben, wenn auch Regeneration und Wachstum mit dem Altern nachlassen. Solche Verjüngung kann angeregt werden durch Wirkung innerer Sekrete, aber sie ist beschränkt auf ein oder wenige Zellsysteme, ist nur Teilverjüngung. Die Möglichkeit einer universellen Verjüngung, mit Einschluß der nicht mehr vermehrungsfähigen Zellsysteme (Ganglienzellen!) bleibt dahingestellt, ebenso die Frage, ob sie lebensverlängernd wirken würde.

Gegenüber den Körperzellen bewahren die Fortpflanzungszellen das Prinzip der Einzelligen, einen ganzen Organismus gleicher Art aus sich hervorgehen zu lassen, sie bleiben im Besitz der potentiellen Unsterblichkeit und sorgen für die Kontinuität des Lebens.

Das Buch beginnt mit einer Motivierung des Begriffes einer mittleren Lebensdauer als desjenigen Alters, das die Mehrzahl normaler Individuen einer Organismenart zu erreichen pflegt. Auf andere Versuche, zu einem besseren Begriff der Lebensdauer zu gelangen, wie ihn Pütter in physiologischer Betrachtung aus dem Zusammenwirken eines äußeren Schädigungs- und inneren Altersfaktors herleitet und mathematisch formuliert, oder Rubner aus dem Energieverbrauch bestimmt, wird ausführlich eingegangen. Für Tiere und Pflanzen werden, soweit sie bekannt oder bestimmbar, die Daten ihrer mittleren Lebensdauer zusammengestellt und versucht, durch Vergleich Gesetzmäßigkeiten in der Beziehung der Lebensdauer zu anderen biologischen Eigenschaften der Organismen zu finden. Es ergeben sich gewisse Relationen zur Körpergröße, zur Art und Geschwindigkeit des Wachstums, zum Zeitverbrauch bis zur Erreichung des geschlechtsreifen Zustandes, zur Zahl der erzeugten Nachkommen und zu den Mitteln, die für Sicherstellung und Erhaltung der Art gegeben sind. Aber alle diese Beziehungen sind dunkel; letzten Endes ist die Lebensdauer von innen heraus bedingt und ist sie eine Frage der inneren Zellorganisation des Lebewesens. Das Altern begrenzt das Leben. Aber es kann aufgehalten werden durch verjüngend wirkende Faktoren, zu denen außer den oben erwähnten auch die Verwandlungs- und Ruhezustände (Metamorphosen, latentes Leben, Winterschlaf, Schlaf) gehören.

Es kann hier in dem kurzen besprechenden Referat unmöglich näher auf die reiche Fülle der Gedanken und Tatsachen eingegangen werden, die das Buch enthält. Dieses Buch will selbst gelesen sein und wird jedem, der an den skizzierten Fragen ein Interesse hat, die Mühe reichlich lohnen. W. Thörner, Bonn.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Die Numerierung der Linien von Bandenserien.

Der frappante Erfolg der Quantentheorie in seiner Anwendung auf die Bandenspektren und auf einige Absorptionsspektren im ultraroten Gebiete dürfte die Bahn ebnen zu einem weiteren Felde spektroskopischer Forschung. An der allgemeinen Richtigkeit der Theorie ist wohl nicht zu zweifeln. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, daß der weitere und eingehendere Vergleich mit Beobachtungsdaten manche bedeutungsvollen Modifikationen bzw. Erweiterungen der Theorie notwendig machen dürfte. Zum Zwecke eines solchen Vergleiches werden die Schwingungszahlen der Linien durch eine Reihe nach zunehmenden Potenzen von  $m$  ausgedrückt, wobei  $m$  eine ganze Zahl ist, welche die



Ordnungszahl einer gegebenen Linie bedeutet. In solchen Serien sind die Koeffizienten offenbar von der verwendeten Numerierung abhängig. Vor der Einführung der Theorie war dies eine reine Sache der Willkür; es ist jedoch nunmehr möglich, diesen Koeffizienten eine bestimmte physikalische Bedeutung zuzuschreiben, angenommen natürlich, daß das Numerierungssystem ein geeignetes ist. Ob das der Fall ist oder nicht, kann man in manchen Fällen ohne Schwierigkeit beurteilen; in anderen Fällen sind zwei alternative um eine Einheit verschiedene Numerierungen möglich, und es wird notwendig sein, zwischen ihnen ein für allemal zu entscheiden, damit der Fortschritt in diesem Gebiete nicht durch Zweideutigkeit in der Nomenklatur gehemmt wird.

Man begegnet der in Frage kommenden Schwierigkeit im Falle der sogenannten *P*- (oder negativen) und *R*- (oder positiven) Zweige einer typischen Gruppe von Bandenserien. Es wird angenommen, daß diese beiden Zweige einer inneren Strukturänderung der Molekel entspringen, welche an sich eine Strahlung von der Schwingungszahl  $\nu_0$  verursachen würde und mit der eine Änderung um eine Einheit in der Rotationsquantenzahl zusammenhängt. Die *R*-Serie entspricht einer Abnahme der Quantenzahl, die *P*-Serie dagegen einer Zunahme. Wenn wir in Anschluß an *Sommerfeld* („Atombau und Spektrallinien“, 1921, S. 555) und andere Quantentheoretiker die Numerierung so wählen, daß  $R(m)$  die Änderung  $m \rightarrow (m-1)$  und  $P(m)$  die Änderung  $m \rightarrow (m+1)$  bedeutet, so lauten die theoretischen Formeln:

$$R(m) = \nu_0 - c_0' + 2c_0 m + (c_0 - c_0') m^2$$

und

$$P(m) = \nu_0 - c_0' - 2c_0 m + (c_0 - c_0') m^2,$$

wobei  $c_0$  und  $c_0'$  Konstante bedeuten, welche sich auf die Anfangs- und Endzustände der Molekel beziehen.

Wie man sieht, werden die beiden Formeln identisch, wenn für  $m$  im ersten Falle positive und im zweiten Falle negative Werte eingesetzt werden, und es ist darüber kein Zweifel, daß, vom mathematischen Standpunkt aus betrachtet, diese von allen möglichen Numerierungen die einfachste ist. Vom physikalischen Standpunkt ist dennoch dieses Vorgehen nicht ganz einwandfrei. Erstens sind die Intensitäten der beiden Serien manchmal sehr verschieden. Es kann sogar die eine Serie ganz stark auftreten, die andere dagegen gar nicht vorhanden sein, was dafür spricht, daß sie als getrennte Serien angesehen werden sollten. Zweitens hängen  $R(m)$  und  $P(m)$  nicht beide mit denselben zwei Rotationszuständen der Molekel zusammen und sie sind mithin nicht wirklich einander entsprechende Linien. Es sind in diesem Systeme  $R(m+1)$  und  $P(m)$ , welche einander entsprechen. Dadurch entstehen Schwierigkeiten in der Formulierung bestimmter zwischen solchen Linien bestehender Beziehungen, z. B. Ähnlichkeit der Störungen, Kombinationsgesetze (siehe unten). Vom physikalischen Standpunkt aus betrachtet wäre es also vorzuziehen, wenn man die *P*-Serie um eine Einheit niedriger numerieren würde, wodurch  $P(m)$  der Änderung  $(m-1) \rightarrow m$  entsprechen würde, also genau umgekehrt wie bei  $R(m)$ . Die Formeln lassen sich dann schreiben:

$$R(m) = \nu_0 - c_0' + 2c_0' m + (c_0 - c_0') m^2$$

$$P(m) = \nu_0 + c_0 - 2c_0 m + (c_0 - c_0') m^2.$$

Die Vorteile dieser neuen Schreibweise werden vielleicht etwas deutlicher erscheinen unter Benutzung folgender Beispiele:

1. In bestimmten Fällen fehlen die ersten Linien der beiden Serien (d. h.  $1 \rightarrow 0$ ,  $0 \rightarrow 1$ ) gänzlich. Im früheren Numerierungssystem wären diese Linien durch  $R(1)$  und  $P(0)$ , im zweiten System dagegen durch  $R(1)$  und  $P(1)$  zu bezeichnen.

2. Das Kombinationsgesetz, welches zwischen diesen Serien gilt, drückt sich folgendermaßen aus:

$$P(m) + R(m+1) = Q(m) + Q(m+1)$$

nach früherer Bezeichnung,

$$P(m) + R(m) = Q(m) + Q(m+1)$$

nach unserer Bezeichnung.

Der erste Ausdruck läßt sich nicht so leicht interpretieren wie der zweite. Die *Q*-Serie läßt sich nur in einer Weise numerieren, denn sie wird durch eine Gestaltsänderung ohne Rotationsänderung verursacht.

Meiner Ansicht nach sprechen obige Überlegungen zugunsten des zweiten Numerierungssystems, welches nicht nur physikalisch richtiger zu sein scheint, sondern auch viel bequemer ist. Durch meine Erfahrungen mit den beiden Systemen in ihrer Anwendung auf einige der Heliumbanden<sup>1)</sup> bin ich in dieser Meinung bekräftigt worden, und es ist sehr zu wünschen, daß die Frage einer Diskussion unterzogen wird.

W. E. Curtis, Universität Sheffield.

\* \* \*

Zu den Ausführungen des Herrn Curtis sei kurz folgendes bemerkt:

Wenn man eine Linie einer Teilbande, die wie alle spektralen Frequenzen zunächst von zwei Zuständen abhängt, durch eine Laufzahl  $m$  festlegen will, so kann man das, wenn man noch eine Angabe über den Sprung der Quantenzahl macht. Dies geschieht durch die Symbole  $P(m)$  ( $\Delta m = -1$ ),  $Q(m)$  ( $\Delta m = 0$ ),  $R(m)$  ( $\Delta m = +1$ ). Ob man mit  $m$  nun den Anfangs- oder Endzustand bezeichnet, ist vollkommen frei und zunächst Sache der Verabredung, die sich von Zweckmäßigkeitsgründen leiten lassen muß. Die bisher übliche Bezeichnungsweise (*Heurlinger*; *Sommerfeld*, 3. Auflage) zeichnet den Endzustand des Moleküls aus und gewinnt dadurch den Vorteil, daß in der Serienformel vieler Banden  $m$  alle Werte außer Null annehmen darf. Der Endzustand  $m = 0$  schien nach der bisherigen Überlegung physikalisch eine Sonderstellung einzunehmen. Herr Curtis schlägt vor, unter  $m$  jeweils die größeren der beiden in Frage kommenden Quantenzahlen zu verstehen und gewinnt dadurch bei solchen Banden, die einen Nullzweig haben, den Vorteil symmetrischer Schreibweise, wofür ihm dies bei den anderen (z. B. Cyanbanden) verloren geht. Er kann für sich in Anspruch nehmen, daß nach *Lenz* bei Kreismolekülen unter einer gewissen Annahme über den Elektronensprung für die überhaupt möglichen Molekülquantenzahlen eine untere Grenze besteht, so daß das Ausfallen von Linien hier vom Wert der kleineren der beiden Quantenzahlen abhängt. Da der Sprung immer 1 beträgt, so ist dies auch eine Bedingung für die größere der beiden Quantenzahlen. Beide Bezeichnungsweisen haben also ihre Vorteile und Nachteile. Wenn Herr Curtis meint, daß das Kombinationsgesetz sich in seiner Darstellungsweise einfacher formulieren lasse, so kann ich mich dem nicht anschließen.

Nun zu den Störungen. Nach den Feststellungen von *Heurlinger* zeigen die Linien  $+m$ ,  $-(m+1)$  der

<sup>1)</sup> Diese Arbeit wird demnächst im Proc. Roy. Soc. erscheinen.

bisher üblichen Numerierung die gleichen Störungen. Die Curtissche Bezeichnung würde erreichen, daß bei den Linien die Zahl  $(m + 1)$  zugeordnet wird. Es hat also den Anschein, als ob dadurch die bisherige Unsymmetrie beseitigt würde. Formal wird dies zwar erreicht, physikalisch dürfte aber gerade hier unsere Bezeichnungsweise vorzuziehen sein. Verfolgt man nämlich die Störungen bei den violetten Cyanbanden durch das ganze System, so sieht man, daß diese offenbar mit dem Anfangszustand verknüpft sind, daß sie also zum gleichen Anfangsterm gehören. Diese Feststellung steht aber im Widerspruch mit der Heurlinger'schen Auffassung, der sich ja Herr Curtis anschließt, wonach die Linien durch die Übergänge  $m + 1 \rightarrow m$ ,  $m \rightarrow m + 1$  zustandekommen sollen, also verschiedene Anfangsterme haben. Da uns die Störungen im Verein mit anderen Umständen<sup>1)</sup> zwingen, den gestörten Linien den gleichen Anfangszustand zuzuordnen, so haben wir demnach nicht bloß die Schreibweise, sondern auch die Deutung der Linien abzuändern. Wie das zu geschehen hat, darzulegen, ist hier nicht der Ort. Wollen wir dann noch Symmetrie in der Bezeichnung haben, so ist, da hier der Anfangszustand physikalisch ausgezeichnet ist, die Anfangsquantenzahl als Laufzahl zu wählen. Es sei nur noch darauf hingewiesen, daß durch unsere neue Deutung naturgemäß auch die Stellung der ausfallenden Linien innerhalb der Numerierung geändert wird, so daß die von Herrn Curtis und mir daraus abgeleiteten Gründe für und gegen eine Abänderung nicht mehr stichhaltig sind. Grundsätzlich kann natürlich bei anderen Banden ebensogut auch der Endzustand für die Störungen verantwortlich zu machen sein, so daß hier dieser ausgezeichnet erscheint. Wir können also zusammenfassend sagen: Herr Curtis hat in dankenswerter Weise auf einen ungeklärten Punkt, die Lage der Störungen, in der Theorie der Bandenspektren hingewiesen. Wir sind der Meinung, daß die von ihm vorgeschlagene Lösung zu formal ist und suchen der Schwierigkeit durch eine abgeänderte Deutung der Linien Herr zu werden. Zugleich sehen wir, daß sich die Frage der Numerierung nur von Fall zu Fall entscheiden läßt.

München, den 8. Februar 1922.

A. Kratzer.

### Über die Errichtung eines Zweig-Laboratoriums der Biologischen Anstalt in List auf Sylt.

Unsere ausgedehnten Watten der Nordseeküste sind von großer Bedeutung für das Tierleben der Deutschen Bucht. Während Helgoland mit seiner Felsenküste eine in der Deutschen Bucht einzigartige Mannigfaltigkeit wissenschaftlich interessanter Pflanzen- und Tierarten aufweist, bietet die zwar mehr eintönige Fauna und Flora des flachen Wattstrandes und des Wattenmeeres doch auch wissenschaftlich viel Interessantes und besitzt außerdem eine nicht zu unterschätzende wirtschaftliche Bedeutung als Nahrungsquelle für viele Bodentiere des tieferen Wassers, als Brutstätte und Aufzuchtbecken mancher nutzbaren Meerestiere<sup>2)</sup>.

Es ist hierbei darauf hinzuweisen, daß unsere Kenntnis von den uns nächstliegenden Küstenstrecken und den Wattenmeeren der Deutschen Bucht noch sehr

lückenhaft ist und daß es dringend eingehender wissenschaftlicher Untersuchungen, etwa nach dänischem Muster, bedarf, damit wir besonders die ökologischen Verhältnisse in den eigenen Gewässern besser kennen lernen.

Nicht an vielen Punkten der deutschen Küste hat der Naturforscher die Gelegenheit, die Probleme der Wattenmeerbiologie eingehend zu untersuchen; alle Orte der Küste selbst sind hierzu weniger geeignet als die vorgelagerten Inseln. Besonders günstige Verhältnisse bietet Sylt und das Sylter Wattenmeer; schon die hier liegenden natürlichen Austerbänke, die einzigen natürlichen Küstenbänke der Nordsee, verschaffen ihm den Vorrang vor den anderen Gebieten. Der Sitz des Austernfischereibetriebes in List auf Sylt ermöglicht spezielle fischereibiologische Untersuchungen des Wattenmeeres. Da die Fauna des Sylter Wattenmeeres besonders reichhaltig ist und List, jederzeit auch mit größeren Fahrzeugen leicht erreichbar, am Ausgang des Watts zur offenen Nordsee liegt, bietet es auch den geeignetsten Platz zur wissenschaftlichen Erforschung der hydrographischen und biologischen Wechselwirkungen zwischen Wattenmeer und freier See. Um nur einige Beispiele zu dem oben Angeführten zu erwähnen, sei daran erinnert, daß man in List mit Leichtigkeit *Echinus miliaris*, *Asterias rubens*, *Ostrea*, *Mytilus*, *Sabellaria*, *Arenicola* usw. erhalten kann. Dort am Eingang des Wattenmeeres befindet sich ein Laichplatz des Nagelrochens, tiefer im Wattenmeer laicht *Belone*; Jungfischschwärme von *Belone*, *Hering* und *Gadiden* werden oft angetroffen.

Eine weitere, leider zurzeit infolge der Beschädigung der Anlage etwas eingeschränkte Möglichkeit zu biologischen Untersuchungen bieten die Austernbassins, drei Zementbecken mit je 1200 qm Grundfläche, die mit dem Wattenmeer durch ein Hebersiel in Verbindung stehen und einzeln abgeschlossen werden können. Diese Becken sind für manche Aufzuchtversuche geeignet<sup>3)</sup>.

Die Biologische Anstalt auf Helgoland hat bereits vor dem Krieg Untersuchungen in List ausgeführt und öfters Exkursionen in das Sylter Watt unternommen. Daher war es sehr zu begrüßen, daß wir jetzt in der Lage waren, in den früheren militärischen Anlagen nach dem Kriege geeignete Räume zu mieten, in denen 4–6 Arbeitsplätze eingerichtet und die notwendigsten Geräte untergebracht sind. Wie der Besuch des Zweiglaboratoriums von Gästen der Anstalt und die Arbeiten von Anstaltsbeamten selbst im vergangenen Sommer gezeigt haben, lassen sich dort bequem wissenschaftliche Untersuchungen vornehmen. Auch die Materialbeschaffung für unser Aquarium, für wissenschaftliche Arbeiten und für den Versand hat in dem Zweiglaboratorium eine erfreuliche Stütze gefunden.

Helgoland, den 11. Februar 1922.

Hagmeier.

### Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

#### Die Entwicklung der Brille IX.

1. A. v. Pflugk, Über Scherenbrillen. (5. VIII. 20.) Ber. 42. Vers. Deut. Ophth. Ges. Heidelberg, 315/22, 7 +.

- 3) Vgl. Hagmeier, Die Fortpflanzung der Auster und die fiskalischen Austernbänke, Wiss. Meeresunters. N. F., XI. Bd., Abt. Helgoland, S. 220–248, 1916.

<sup>1)</sup> Vgl. den zweiten Teil der Hab.-Schrift des Verf. Ann. d. Phys. 1922.

<sup>2)</sup> Man vergleiche z. B. die Untersuchungen C. G. Joh. Petersens und seiner Schüler über die Bodenfauna der dänischen Gewässer (verschied. Arbeiten in den Berichten der Dänischen Biolog. Station).



2. R. Greeff, Unsere Kunstbeilage. Die Gelenk- oder Scharnierbrille. Deut. opt. Wochenschr. 1921, 7, 3, + und 1 Tfl. (2. I.)
3. Derselbe, Eine Fälschung aus der Geschichte der Brille (13. IX. 20). Ztschr. f. ophth. Opt. 1921, 9, 9/12 + (8. I.).
4. Derselbe, Die Erfindung der Augengläser. Kulturgeschichtliche Darstellungen nach urkundlichen Quellen. Optische Bucherei. Berlin, A. Ehrlich, Bd. 1, 1921, 120 S. 8° mit 10 Tfln.
5. A. v. Pflugk, Über Brillenmünzen und Medaillen. Graefes Arch. 1921, 105, 688/707, + und 4 Tfln. Auch als S.-A. unter besonderem Titel: Brillenmünzen und Brillenmedaillen, Halle a. S., Riechmann & Co., 1921. Mit einem aus dem April stammenden Vorwort. (2), 20 S. gr. 8° +, mit 4 Tfln.
6. M. v. Rohr, Ein alter Regensburger Lehrbrief (17. III.), Ztschr. f. ophth. Opt. 1921, 9, 69/72, 1 Tfl. (3. V.).
7. Curt Müller, Neue Funde zur Geschichte der Glasbrillen, Deut. opt. Wochenschr. 1921, 7, 367/8 (22. V.).
8. R. Greeff, Noch eine datierte Meisterbrille (11. V.), Ztschr. f. ophth. Opt. 1921, 9, 97/8 (11. VII.).
9. E. Plehn +, [Keplers Ansichten über die Brille], ebenda 103/6, 2 + (11. VII.).
10. Curt Müller, Das Original der Regensburger Brillenmacherordnung (26. V.), ebenda 129/30 (20. IX.).
11. Derselbe, Die Regensburger Brillenmacher-Ordnung, Deut. opt. Wochenschr. 1921, 7, 720/6, 6 + (25. IX.).
12. Derselbe, Nürnberger Brillenmacher-Ordnungen und -Ratserlasse, ebenda, 874/7 (20. XI.); 895/7 (27. XI.); 915/7 (4. XII.).
13. R. Greeff, Kommen die Brillen aus China? Ebenda 899/900, + (27. XI.).

Teilt man, wie in den früheren Berichten, die Arbeiten je nach der Zeit des behandelten Gegenstandes in solche aus alten Zeiten, solche aus dem 17. und 18. Jahrhundert und solche aus der neuen Zeit ein, so gehört bei der diesmaligen Sammlung die Hauptzahl in die mittlere Gruppe, 2, 4, 11, 12 greifen mehr oder minder in die erste, 1 und 7 in die letzte über.

In 4 hat Greeff zunächst eine Menge von falschen Vorstellungen zurückzuweisen, um zu zeigen, daß man die Erfindung der Brille auf das Ende des 13. Jahrhunderts zu verlegen habe, wo solche jedenfalls in Venedig — und sogar schon aus Glas, nicht aus Beryll — hergestellt worden seien. Drei hierfür wichtige Erlasse des venezianischen Rats von 1300 und 1301 werden mitgeteilt. — In 2 werden einige Gelenkbrillen angeführt, die im 16. Jahrhundert ziemlich verbreitet gewesen sein mögen.

Eine ganz besonders eingehende Behandlung wurde den Brillenmacher-Ordnungen der oberdeutschen Reichsstädte zuteil. Curt Müller konnte in 10 zeigen, daß er in Regensburg die wohl aus der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts stammende Urschrift der dortigen Brillenmacherordnung aufgefunden habe, deren Wortlaut bisher nur aus der Abschrift im Germanischen Nationalmuseum bekannt war. In 11 druckt er den Wortlaut in der alten Schreibart ab, wobei ein kurzer Zusatz zu S. Neuburgers treuer Wiedergabe des Nürnberger Textes auffällt. Man könnte danach glauben,

daß wenigstens eine Zeitlang in Regensburg die Wirkung der eben-erhabenen Brillen nach dem in Regensburger Zollen gemessenen Durchmesser (2 r) der Schleifschale angegeben worden wären. Auch sieht es so aus, als seien zu der — freilich vorläufig nicht bestimmbar — Zeit dieses Zusatzes bereits sammelte Brillengläser mit einem Tragrande hergestellt worden, denn so kann man den Ausdruck „mit scharfen Ringen“ vielleicht deuten. In 12 ließ der gleiche Verfasser eine bisher ganz unbekannte Zusammenstellung über das Nürnberger Brillenmacherhandwerk als eine große, ungemein wertvolle Veröffentlichung folgen. Es handelt sich dabei um vier verschiedenartige Quellen, die zum Teil die gleichen Zeiträume umfassen. Der sehr reiche Inhalt wird in dem nächsten Berichte wiederzugeben sein, da eine Bearbeitung des von den alten Sammlern ziemlich ungeordnet überlieferten Stoffes bereits zum Druck gegeben worden ist. Dabei wurde besonderes Gewicht auf Brillenpreise, Lehrlingsausbildung und die Bestrebungen gelegt, die Abwanderung in Nürnberg ausgebildeter Arbeitskräfte nach benachbarten Reichsstädten zu verhindern. — In ziemlich enger Beziehung hierzu steht 6, wo ein aus dem Jahre 1686 stammender Lehrbrief eines Regensburger Optiker- (Schleifer-) Lehrlings in Nachbildung und nach unseren heutigen Regeln für Großschreibung und Satzzeichen umgeschrieben mitgeteilt wird. Die damals etwa 100 Jahre alte Regensburger Ordnung scheint noch gewissenhaft beobachtet worden zu sein. — Ebenfalls in diese besondere Gruppe gehören 3 und 8. In 8 teilt Greeff ein weiteres (s. diese Zeitschrift 1921, 98 r v. 11. II. unter 3) jetzt bekanntgewordenes Nürnberger Meisterstück mit. Es stammt aus dem Jahre 1678, und die darin befindlichen Gläser scheinen ganz besonders schlecht geschliffen zu sein, obwohl man anscheinend in dieser Richtung zu Nürnberg häufig zu wünschen übrig ließ. — In 3 hält sich derselbe Verfasser auf über einen nicht unterzeichneten Aufsatz aus der Leipziger Illustrierten Zeitung vom Jahre 1852, wo eine für jene Zeit ganz bemerkenswerte Kenntnis der Regensburger Brillenmacherordnung zu dem launigen Einfall verwandt wird, einen erdichteten Bürgermeister Hahn mit einer durch einen Hahn im Mittelfelde gezierten Brille darzustellen. Greeff zeigt, daß der unbekannte Zeichner seinen Bürgermeister dem Bildnis eines Malers und Kupferstechers Kupetzky aus dem 18. Jahrhundert entnommen und ihn mit einer Brille seiner Erfindung geziert habe. Als Quelle für die Brillengeschichte dürfe man das Bildchen nicht verwenden, wie es ausländische Sammler getan hätten. — Von großer Bedeutung für die optische Seite der Brillenkunde ist die klassische Erklärung der Brillenwirkung, wie sie J. Kepler 1604 auf die Anregung seines Gönners, des Freiherrn v. Dietrichstein, gegeben hat. Sie ist unter 9 aufgeführt und bildet einen Teil des in der sorgfältigen Übersetzung F. Plehns + in der gleichen Zeitschrift mitgeteilten 5. Kapitels aus der Keplerschen Optik. — Auch noch in diese Zeit gehört die Greeffsche Anekdote 13, worin gegen die gänzlich unbegründete Annahme Stellung genommen wird, die Brillen seien in China erfunden worden. Hier mag die Verweisung auf den vorjährigen Bericht (diese Zeitschrift. 1921, 98/99 v. 11. II.) genügen, wo unter 1 von der durch spanische Jesuiten geschehenen Einführung der spanischen Fadenbrillen nach China die Rede war. —

Weitere, sehr wertvolle Forschungen gehen auf A. v. Pflugk zurück. In 1 füllt er eine Lücke unserer Kenntnis von der letzten Hälfte des 18. Jahrhunderts

aus. Man wußte wohl, daß unter dem Einflusse des französischen Brauchs der Kurzsichtige des 18. Jahrhunderts in der guten Gesellschaft nur verstoßen ein Einglas brauchte, und daß das häufige Auftreten der Ohrenbrillen im ersten und zweiten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts mindestens in Deutschland auf einen uns heute kaum begreiflichen Widerspruch stieß. A. v. Pflugk weist nun darauf hin, daß sich in der Zeit zwischen 1750 oder 60 und den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts die langgestielte Scherenbrille oder Doppellorgnette entwickelte und vornehmlich Kurzsichtigen diente. Diese durch Modeeinflüsse entwickelte Zwischenform des doppelten Handglases ist, wie später noch genauer gezeigt werden soll, bald durch zierlichere Griff- und Stielbrillen ersetzt worden, die sich daneben noch auf einen kleineren Umfang zusammenlegen ließen. — Eine den meisten Lesern unbekannte Darstellungsart von Brillen, nämlich die auf Geld- und Schaumünzen, behandelte A. v. Pflugk unter 5 in einer ungemein eingehenden und von erstaunlichem Forschungseifer zeugenden Darstellung. Er teilt sein großes Gebiet in zwei Hauptteile ein, je nachdem die Brille (seltener) als eigentliche Augenhilfe oder (häufiger) als Sinnbild auftritt. In dem ersten Teile handelt es sich um Notgeld, um Erkennungsmarken für Gildenangehörige und um Bildnis-Schaumünzen. Dabei konnte der Verfasser einen sehr wichtigen Fund verzeichnen, wo ein ganz hoher spanischer Staatsbeamter um 1675 mit einer gerade wie unser heutiger Klemmer getragenen Klemmbrille dargestellt wurde. Unsere jetzige Verwendung dieser Brillenform läßt sich bis in die 40er Jahre des 19. Jahrhunderts zurückverfolgen, tritt also etwa 170 Jahre später auf als in dem Gebiete der spanischen Sitte. Was die sinnbildliche Verwendung der Brille angeht, so tritt sie teils — häufig mit einer Eule — als Zeichen scharfen Verstandes, teils — vielfach mit einem Totenkopf oder einem Stundenglas verbunden — als Zeichen der Hinfälligkeit und Vergänglichkeit auf. Diese Darstellungen werden von der Mitte des 16. bis in das 18. Jahrhundert verfolgt. Auch hier ergab sich nebenbei ein wertvoller Beitrag zur Geschichte der Brillenformen. Der Verf. konnte glaubhaft machen, daß schon ein um das Ende des 17. Jahrhunderts geprägter Spielfennig eine billige Drahtbrille darstellte. Diese Vermutung wurde durch 12 glänzend bestätigt, denn dort werden solche Formen bereits in einem Ratserlasse von 1675 erwähnt. — In 7 äußert sich C. Müller zu der im vorjährigen Berichte (diese Ztschr. 1921, 98/99 v. 11. II.) ebenfalls unter 7 besprochenen Arbeit und bezweifelt die Zurückführung der aus A. Pichlers Mitteilung bekannten Glasklemmer auf *Oliva* in Mailand. Sie stammten vielmehr von dem Hause *Scheidig* in Fürth.

M. v. Rohr.

Von dem Einfluß des Wetters auf den Gesang der Vögel. Neulich fiel mir ein Aufsatz von Dr. Albert Schwan über „Vogelgesang und Wetter“ in die Hände (Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere Bd. 180, S. 341 ff.), in dem der Verfasser über allerlei Versuche berichtet, die er unternahm, um festzustellen, welcher Helligkeitsgrad nötig sei, damit die verschiedenen Vogelarten ihr Morgenlied beginnen.

So dankenswert die Feststellungen des Beobachters aber auch sind, hat ein alter Vogelpfleger, der die

Art und die Ergebnisse jener Versuche auf Grund eines überaus reichen Erfahrungsschatzes nachprüft, an beiden doch mancherlei Ausstellungen zu machen.

Vor allem fragt es sich, ob wirklich alle Singvogelmännchen ihr Tagewerk mit dem Gesänge oder auch nur mit einzelnen lauten Rufen beginnen, eine Voraussetzung, von der Dr. Schwan bei seinen Versuchen doch auszugehen scheint. Bezüglich dieser Ansicht muß wohl zugegeben werden, daß sie im allgemeinen zutreffen dürfte, sogar in so hohem Grade, daß viele Arten, deren Sangesperiode zeitlich eng begrenzt ist, noch Wochen oder Monate nach dem Erlöschen ihres feurigen Brunstgesanges wenigstens unmittelbar nach dem Erwachen kurze Gesangesstrophen oder einzelne Rufe hören lassen. Für die Singdrossel (*Turdus musicus* L.) und die Amsel (*Turdus merula* L.), an die sich Schwan in erster Linie hält, trifft das sicherlich zu. Ob die Regel aber allgemein gilt, unterliegt doch starkem Zweifel. Der Verfasser selbst äußerte den hinsichtlich der Grasmücken (*Sylvia*), wir finden ein gleiches Verhalten außerhalb der eigentlichen Brunstzeit aber noch bei sehr vielen Arten, die in anderen Monaten doch auch recht fleißig und lebhaft singen. Mein eigenes Vogelzimmer beherbergt zurzeit einen Star (*Sturnus vulgaris* L.), einen Kleiber (*Sitta caesia* Wolf), einen Grauedelsänger (*Fringilla musica* L.), einen Feldesperling (*Passer montanus* L.), zwei Buchfinken (*Fringilla coelebs* L.), einen Grünfink (*Chloris chloris* L.), vier Rothänflinge (*Acanthis cannabina* L.), drei Berghänflinge (*Acanthis flavirostris* L.), drei Zeisige (*Chrysomitris spinus* L.), drei Stieglitze (*Carduelis carduelis* L.), einen Grünfink  $\times$  Kanarie (*Chloris chloris* L.  $\times$  *Serinus canarius* L.) und einen Rothänfling  $\times$  Kanarie (*Acanthis cannabina*  $\times$  *Serinus canarius* L.). Alle diese Vögel singen bzw. locken (Kleiber) schon recht fleißig. Angeregt durch die Arbeit des Dr. Schwan stellte ich nun in den letzten Tagen eigens fest, in welcher Reihenfolge meine Vögel ihr Morgenlied beginnen. Da fand ich nun heraus, daß der Grauedelsänger (nebenbei bemerkt, verpflege ich diesen winzigen Sänger schon volle zehn Jahre, ohne irgendwelche Altersmerkmale an ihm zu entdecken, und als ich ihn erhielt, machte er zum mindesten keinen jugendlichen Eindruck mehr) regelmäßig der Chorführer ist. Ihm folgen die Berghänflinge (Nordländer!). Dann fällt der Star ein, während alle übrigen ihr Lied erst wesentlich später beginnen. Ähnlich verhält es sich meinen Erfahrungen zufolge mit manchen Vogelarten auch im Freileben, sofern man von der Zeit höchster Brunst absehen will. Mitunter erreichen Sangeslust und Sangesfleiß ihren Höhepunkt gerade in den Abendstunden. Das gilt beispielsweise von *Passer montanus*. In meiner Vogelstube drängen sich augenblicklich die lautesten und emsigsten Gesangsvorträge tagtäglich in drei Zeitabschnitte zusammen. Diese liegen in den frühen Vormittagsstunden, in der Zeit von zwölf bis eins und dann wieder in der Stunde von zweieinhalb bis dreieinhalb. (Letztes Drittel des Februar.)

Dr. Schwan hat in jener Arbeit den hübschen Ausdruck Weckhelligkeit geprägt. Ich nenne ihn hübsch, weil er dem Leser sogleich einen ganzen Kreis von Begriffen vergegenwärtigt. Aber auch hinsichtlich dieses Ausdrucks müssen wir doch sogleich hervorheben, daß er nur mit wesentlichem Vorbehalt gebraucht werden darf. Bei allen Nachtsängern ist er ja natürlicherweise bedeutungslos. Deren Kreis ist aber viel größer, als man nach den lakonischen An-



gaben jener Handbücher glauben möchte, die nur ganz kurze biologische Anmerkungen enthalten. So gehört zu den Nachtsängern im weiteren Sinne eigentlich fast die ganze Familie der Ammern. Dabei war es mir immer besonders bemerkenswert, daß die verschiedensten Ammernarten diese Eigenschaft gemeinsam haben, mag es sich um Bewohner der arktischen Region, wie den Schneeammer (*Passerina nivalis* L.), um unsere Landsleute, wie den Gartenammer (*Emberiza hortulana* L.), um Kinder des Mittelmeergebiets wie den Kappnammer (*Emberiza melanocephala* Scopoli) oder gar um Inder wie den Braunkopffammer (*Emberiza luteola* Latham) handeln. Dabei sind diese Arten auch hinsichtlich der Lebensweise völlig verschieden, wie schon die Nebeneinanderstellung des Schneeammers und Rohrammers (*Emberiza schoeniclus* L.) zur Gepüge zeigt. Auch bei den meisten Nordländern und manchen anderen Arten, an die man nicht im ersten Augenblick denken möchte (viele *Alaudidae* z. B.), darf man füglich nicht von einer Wechseligkeit reden.

Desgleichen sollte man sich die Sache auch nicht so vorstellen, als wäre die Lichtwirkung eine unbedingte biologische Vorbedingung für die Gesangesäußerung. So mußte ich schon des öfteren meine Vogelstube recht stark verdunkeln, um erkrankte Familienmitglieder, die neben dem Vogelzimmer untergebracht werden sollten, vor der Störung durch den lauten Gesang zu bewahren. Es zeigte sich aber regelmäßig, daß der Beginn des Gesanges durch diese Maßregel wohl verzögert, aber die Lieder selber nicht unterdrückt werden konnten. Dabei wurde die Zeitspanne, um die der Anfang des Gesanges durch diese Maßregel hinausgeschoben wurde, von Tag zu Tag kürzer.

Was die Wirkung von Regen und Feuchtigkeit angeht, so decken sich meine Erfahrungen so ziemlich mit den Erfahrungen jenes Berichterstatters. Warme Regenfälle nach langer Sommerdürre rufen fast alle Singvögel sehr stark zum Gesänge an, doch verliert der Regen diese Eigenschaft ganz und gar, wenn er allmählich zum kalten Landregen wird. Die Sprosser (*Erethacus philomela* Bechstein) des Drenzwales wurden durch niedrige Lufttemperaturen ohne Wind am Singen kaum behindert, während sie feuchtkaltes windiges Wetter völlig vergräme.

Andererseits muß ich Dr. Schwan gegenüber hervorheben, daß meine Pfleglinge auch neuerdings die größte Sangeslust nicht bei steigendem Barometerstand betätigten, sondern ganz im Gegenteil bei einer Witterung, die bei sinkendem Luftdruck mildere Witterung heraufführt und den nahenden Frühling zu verkünden schien.

Zu dem Kapitel „Schwanenlied“ möchte ich zu guter Letzt noch eine Erfahrung der letzten Wochen anführen. Mein früher gar prächtiges Rotkehlchen (*Erethacus rubecula* L.) trauerte seit der herbstlichen Zugerperiode, während deren es sich seine Flügel in dem geräumigen Käfig so stark beschädigt hatte, daß es wochenlang mit muschelförmig abstehenden Flügeln dasaß. Die blutrünstigen Mittelhandknochen heilten zwar, als der Vogel nicht mehr „wandern“ wollte, bei Behandlung mit Alsolcreme in kurzer Zeit, doch ging es dem Rotkehlchen wie vielen Stubenvögeln, die durch äußere Einwirkungen einmal aus dem Gleichgewicht gebracht worden sind, es verfiel abzehrungsartigem Siechtum, das auch seinen Gesang vollständig verstummen ließ. Um so mehr wunderte ich mich, als

mich mein Pflegling eines Morgens, offenbar Mehlwürmer heischend, mit kurzen flackernden Gesangsstrophen empfang, und das wiederholte, so oft er mich an jenem Tage zu Gesicht bekam. Strophen wie diese hatte gerade jenes Rotkehlchen, ein leiser, versonnener Sänger, vorher nie hören lassen. Sie sollten sein „Schwanenlied“ werden. Am nächsten Morgen war es tot.

Diese Ausführungen sind kaum geeignet, hinsichtlich des von Dr. Schwan behandelten Gedankenkreises wesentliche Erkenntnis zu bringen. Ihr Zweck ist nur, auch für diesen Begriffskreis darzutun, daß es sich auch hier nicht um einfache Phänomene handelt, wie der leicht glauben möchte, der sich, vom zootomischen Laboratorium kommend, solchen biologischen Erscheinungen zuwendet. Noch Kinder und Enkel werden genug zu tun haben, um in diesem Irrgarten Pfade zu entdecken, die auf Höhen zu führen scheinen, die uns einen klareren Überblick über ein verworrenes Reich einander oft genug widersprechender Begriffe verheißen.

Fritz Braun.

## Astronomische Mitteilungen.

**Bestimmung und Zusammenhang der astronomischen Konstanten.** (J. Bauschinger, Encykl. d. mathem. Wissenschaften VI, 2. Heft 7.) Die dem Verfasser gestellte Aufgabe war nicht leicht, wenn er sich nicht nur als Chronisten betrachtete, sondern auch kritisch das augenblicklich beste System von Werten für die verschiedenen astronomischen Konstanten herauszuschälen wollte. Es ist ein Hauptverdienst des Artikels, daß er die Zusammenhänge — und damit Widersprüche — der einzelnen Konstanten in den Vordergrund der Betrachtung stellt. Die angedeutete höhere Aufgabe zu lösen wurde nur teilweise angestrebt. Vielleicht ist aber auch der Zeitpunkt dazu noch nicht gekommen?

Die Abschnitte 2 und 3 der Einleitung enthalten die dem Weiteren zugrunde zu legenden *geodätischen Konstanten*, und zwar „nur die zuverlässigsten . . . Resultate“. Nach dieser Bemerkung muß es ein wenig verwundern, daß nur der Besselsche Erdradius angeführt, des von Hayford abgeleiteten (um rund 1000 m größeren) und von der Pariser Konferenz von 1910 angenommenen Wertes gar nicht Erwähnung getan wird. Für die Lichtgeschwindigkeit wird der Wert  $c = 299\,865 \pm 26$  km/sec, für die mittlere Dichte der Erde  $\Delta = 5,513$  und für die Gravitationskonstante  $0,6675 \cdot 10^{-7}$  cm<sup>3</sup>sec<sup>-2</sup>gr<sup>-1</sup> angesetzt. Die Einleitung schließt mit einer Darlegung des Zusammenhanges zwischen den astronomischen und physikalischen Maßeinheiten.

Die *Konstanten der Erde und der Erdbewegung* behandelt das zweite Kapitel in den Abschnitten 5 bis 15. Hier interessiert vornehmlich der Zusammenhang zwischen den unabhängig voneinander bestimmbaren Größen: Aberrationskonstante  $A$ , Sonnenparallaxe  $\pi_{\odot}$  und Erdmasse  $M$ . Die besten Werte für diese sind:

$$A = 20'',52 \pm 0'',007$$

$$\pi_{\odot} = 8'',806 \pm 0'',003$$

$$M = 1/_{329\,890} \text{ (Sonne = 1)}$$

Aus den als hinreichend bekannt anzusehenden Erddimensionen leiten sich aber die folgenden Beziehungen ab:

$$A \pi_{\odot} = 180,18$$

$$\pi_{\odot} \sqrt{1/M} = 607'',02$$

und man erhält daraus folgende einander wechselseitig entsprechenden Werte (aus 5 und 15 zusammengezogen und gekürzt):

| $A$     | $\pi_{\odot}$ | $1/M$   |
|---------|---------------|---------|
| 20'',47 | 8'',802       | 327 990 |
| 50      | 789           | 329 440 |
| 52      | 781           | 330 410 |
| 54      | 772           | 331 380 |

Die oben angeführten Werte fügen sich in keiner Weise dieser Tabelle ein. *Bauschinger* schlägt (Art. 25) den Kompromiß vor:

$$A = 20'',52, \pi_{\odot} = 8'',782, 1/M = 330 200.$$

Die übrigen Artikel behandeln vor allem die Konstanten der Präzession und Nutation und der astronomischen Zeitrechnung.

Der dem *Mond* gewidmete nächste Abschnitt gibt schon rein äußerlich durch die sich häufenden Formeln und Zahlen und Namen bekannter Astronomen eine Vorstellung von den Schwierigkeiten, welche die theoretische Behandlung dieses uns nächsten Himmelskörpers mit sich bringt. Die Mondparallaxe (bei der Ableitung des endgültigen Wertes wird ein von *Battermann* angegebener Erdradius benutzt!), die sogenannte parallaktische Ungleichheit, die Elemente der Mondbahn und die verschiedenen Störungsglieder der Mondbewegung füllen die Artikel 17 bis 19, während in 20 die Mondmasse abgeleitet wird auf Grund der Sonnenparallaxe 8'',806, in Widerspruch mit dem obigen Kompromiß. Sie findet sich zu  $1/(81,53 \pm 0,08)$  in Teilen der Erdmasse.

Zum Schluß kommen dann die *Planeten* an die Reihe (Art. 21 bis 26), in erster Linie deren Massen. Hier macht *Bauschinger* den interessanten Versuch, unter Anerkennung der von *Einstein* angegebenen theoretischen Zusatzglieder für die Perihelbewegungen der vier inneren Planeten für diese ein einheitliches System von Massen aus den Säkularvariationen abzuleiten. Die Darstellung der empirischen Glieder *Newcombs* ist sehr gut, aber die resultierende Erdmasse  $\frac{1}{331 846}$  steht „in unüberbrückbarem Widerspruch“ mit den sonstigen Bestimmungen und dem genannten Kompromiß. Im übrigen ist in der Tabelle auf S. 887 ein kleines Versehen unterlaufen. In der Spalte  $A$  muß es bei Merkur statt 0,000 20626 heißen 0,000 16300. Für die äußeren Planeten ist in Art. 26 nur eine Zusammenstellung der wichtigsten Bestimmungen ihrer Masse aus neuerer Zeit gegeben, die man gerne durch einige Werte vermehrt und durch den Versuch, ein wahrscheinlichstes System abzuleiten, gekrönt sähe.

H. Kienle.

**Die Sterne vom 4. Secchischen Typus** (*C. Luplau-Janssen* und *G. Haark*, *Astron. Nachr.* 214; 383). Neben der gut bekannten Serie der Spektraltypen von den weißen zu den roten Sternen [in der Harvard-Klassifizierung *OBAFGKM*, bei *Secchi* I., II., III. Typus], die eine fortlaufende Reihe mit allen möglichen Übergängen zeigen, existieren noch eine kleine Anzahl meist schwacher Sterne, die gänzlich außerhalb dieser Serie liegen. Es sind dies die *Kohlensterne* oder der IV. Secchische Typus. Sie zeigen

nämlich neben zahlreichen Metalllinien, z. B. von Cr, Fe, K u. a. die Absorptionsbanden des Kohlenoxyds und des Cyans. Sie zerfallen, obwohl einige Übergänge vorhanden sind, zwanglos in zwei Klassen, die mit *N* und *R* bezeichnet werden. Während die *N-Sterne* tiefrot sind und die Energieverteilung im Spektrum der Temperatur von etwa 2000° entspricht, zeichnen sich die *R-Sterne* durch größere Intensität im Blauen aus, so daß ihre Farbe sich nicht von der des II. Typus (gelbe Sterne) unterscheidet. Ein weiterer Unterschied besteht darin, daß die *N-Sterne* stark nach der Milchstraße konzentriert sind, die *R-Sterne* dagegen gar nicht. *N* und *R* besitzen sehr kleine Eigenbewegung. Ein Versuch von *Kapteyn*, hieraus die mittlere Parallaxe abzuleiten, ergab eine mittlere absolute Sterngröße von  $-4^m,4$  (Sonne =  $0^m,0$ ) mit recht großer Unsicherheit.

Die obengenannten Verfasser haben sich zur Aufgabe gemacht, Distanzen und räumliche Verteilung dieser Sterne näher zu untersuchen. Es lagen 142 vom Typus *N* und 61 vom Typus *R* vor. Beide Typen wurden getrennt untersucht.

Es wird (in Ermangelung irgendwelcher Kenntnisse) angenommen, daß alle Sterne eines Typus die gleiche absolute Helligkeit haben und so ihre relative räumliche Anordnung festgestellt.

Für *N* ergibt sich eine starke Kompression in die Milchstraßenebene, d. h. ein stark abgeplattetes Ellipsoid. Nun wird dies Ellipsoid in das von *Charlier* für die *B-Sterne* (Heliumsterne) gefundene ganz ähnliche Ellipsoid einfach eingepaßt. Das eine Mal wird die nach dem galaktischen Pol gerichtete Koordinate des *N-Ellipsoids* der entsprechenden Größe des *B-Ellipsoids* gleichgesetzt, das andere Mal die von der Sonne nach dem Schwerpunkt der beiden Systeme gerichteten Strecken. Es ergaben sich  $R = 25,7$  bzw.  $15,9$  Parsek, wobei  $R$  die Entfernung ist, von der aus der Normal-*N-Stern* unter der Größe  $0^m,0$  erschienen. Ein drittes Mal werden die Eigenbewegungen zugrunde gelegt und es ergibt sich  $R = 13,7$  Parsek. Die Übereinstimmung ist auffallend gut und dem Mittel  $R = 18,4$  Parsek entspricht die Parallaxe  $0'',04$ . Die absolute Helligkeit ergäbe sich dann zu  $M = -6^m,3$ , d. i. das etwa 300fache der Sonnenhelligkeit.

Für die *R-Sterne*, die eine völlig kugelige Verteilung zeigen, war nur die Benutzung der Eigenbewegungen angängig. Hier ergab sich  $R = 10,0$  und  $M = -5,0$ , d. h. 100fache Sonnenhelligkeit.

Soviel scheint gesichert, daß diese Sterne Giganten sind. Ob das Einfügen in den Haufen der *B-Sterne* berechtigt ist, läßt sich nicht sagen, solange wir nicht wissen, wohin diese Sterne in der Entwicklungsreihe gehören, ob jenseits der *M-Sterne*, ob sie eine Abzweigung der normalen Serie im Sinne *G R N* darstellen, wie *Rufus* und *Curtis* vermuten, oder ob sie eine völlig gesonderte Klasse darstellen. Eine ältere Untersuchung *Hertzsprungs* zeigte eine merkwürdige Abweichung des Poles der *N-Sterne* von dem der Milchstraße, und auch aus der vorliegenden Untersuchung kann man das gleiche herauslesen.

Radialgeschwindigkeiten sind nur wenige (18) bekannt und sie scheinen mit starken systematischen Fehlern behaftet zu sein.

K. F. Bottlinger.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von

**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 13. (Seite 289—312)

31. März 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Die chirurgische Behandlung der Lungentuberkulose. Von *Alfr. Brunner, München*. (Mit 9 Abbildungen.) S. 289.

Wie sehen wir die Natur und wie sieht sie sich selber? Von *J. v. Uexküll, Heidelberg*. (Fortsetzung.) S. 296.

### Besprechungen:

Soergel, W., Die Jagd der Vorzeit. Von *O. Abel, Wien*. S. 301.

Häberlin, Paul, Der Gegenstand der Psychologie. Von *Kurt Joachim Grau, Berlin*. S. 303.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten. S. 305-309. Neues zum Artbegriff der Paläontologen. (Mit 1 Abbildung.) Über den Gasgehalt des Wassers im Hemmelsdorfer See bei Lübeck. Ein

internationales Meeresforschungsinstitut im Malayischen Archipel. Hydrographische und hydrobiologische Arbeiten in Rußland. Ein neues geophysikalisches Institut. Plinius und seine Naturgeschichte. Die zahnärztliche Versorgung des deutschen Volkes.

Physikalisch-technische Mitteilungen. S. 309-312.

Die Fabrikation von optischem Glas. Über den Polymorphismus und die optische Kühlung des Glases. Prüfung von Metallgegenständen mit Hilfe von Röntgenlicht. Das Schweißen von Eisen mit Hilfe von Kupfer.

Astronomische Mitteilungen. S. 312.

American Astronomical Society.

**Verlag von Julius Springer in Berlin W 9**

## Naturgeschichte der Seele und ihres Bewußtwerdens.

Eine Elementarpsychologie. Von Dr. **Eugen Bleuler**, o. Professor der Psychiatrie an der Universität Zürich. Mit 4 Textabbildungen. 1921. (VI, 344 S.)  
Preis M. 66.—; gebunden M. 78.— (und Teuerungszuschlag)

## Lehrbuch der Psychiatrie.

Von Dr. **E. Bleuler**, o. Professor der Psychiatrie an der Universität Zürich. Dritte Auflage. Mit 51 Textabbildungen. 1920. (VIII, 539 S.)  
Preis M. 36.—; gebunden M. 44.— (und Teuerungszuschlag)

**Zu beziehen durch jede Buchhandlung**

## Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 40.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 4.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin. Depositen-Kasse C  
Postscheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20120 Julius Springer,  
für Anzeigen- u. Beilagenbeträge: Berlin Nr. 118935 Julius Springer,  
Konten: für alle übrigen Zahlungen: Berlin Nr. 11100 Julius Springer.

Man verlange  
Listen!



## Projektions-Apparate Liesegang

HochKerziges

# Globoscop

entwirft scharfe, helle Lichtbilder nach jedem Papierbild. An jede elektrische Lichtleitung anzuschließen.

Neue große Lichtbilder-Sammlung  
aus allen Gebieten  
für Lehr- und Vortragszwecke!

**Ed. Liesegang, Düsseldorf**  
Brieffach 124

Von der 2. Auflage von **IV**  
**Chwolson, Lehrbuch der Physik**  
liegt fertig vor:  
Band I, Abt. I: **Mechanik und Meßmethoden**  
Gebunden 34.55 Mk.  
Abt. II: **Lehre von den gasförmigen,  
flüssigen u. festen Körpern**  
Gebunden 38.40 Mk.  
Band II, Abt. I: **Lehre vom Schall**  
Gebunden 23.— Mk.

**Hermann Meusser, Buchhandlung**  
Berlin W 57/9, Potsdamer Straße 75 (225)

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

## Das Unterbewußtsein.

Eine Kritik. Öffentliche Antrittsvorlesung. Gehalten am 20. Juli 1921 in der Aula der Universität Leipzig. Von **Oswald Bumke**. (II, 56 S.) 1922. Preis M. 15.—

## Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu Kaufen gesucht. Angebote unter  
Nw. 236 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

Verlag von Julius Springer  
in Berlin W 9

## Prüfung des Eisens durch Ätzverfahren und mit Hilfe des Mikroskopes.

Kurze Anleitung für Ingenieure, insbesondere Betriebsbeamte. Von **Dr.-Ing. E. Preuß**. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Herausgegeben von **Prof. Dr. G. Berndt**, Privatdozent an der Technischen Hochschule zu Charlottenburg u. A. **Cochius**, Ingenieur, Leiter der Materialsprüfungsabteilung der Fritz Werner A.-G. Berlin-Marienfelde. Mit 153 Figuren im Text und auf 1 Tafel. (VIII, 124 S.) 1921.

Preis M. 14.—;  
geb. M. 18.40  
(u. Teuerungszuschlag)

Zu beziehen durch  
jede Buchhandlung



Führende süddeutsche Wochenchrift (reich illustriert) für Jagd, Zoologie, Forstwirtschaft, Schießweisen und Fischerei. „Der Deutsche Jäger“, München, Brienerstraße 9. Älteste deutsche Jagdzeitung. Bezugsmeldung bei dem zuständigen Postamt, Briefträger oder bei jeder Buchhandlung. — M. 6.50 für einen Monat oder M. 19.50 für ein Vierteljahr, unter Kreuzband M. 25.— vierteljährlich, nach dem valutaartigen Zustand M. 25.—. Inserate wirken außerordentlich.

## Für den Naturfreund und Jäger:

Frau Nada's Pelz u. a. Jagdgeschicht. u. Abenteuer aus d. nahen Orient von **Dr. Penzoldt**, brosch. 12 M., geb. 15 M.  
**Grüne Brüche, Geschichten und Gesellen aus Berg und Wald vom Mitarbeiterkreis d. Deutsch. Jägers**, brosch. 12 M., geb. 15 M.  
**Almrausch, Jagd- u. Bergler-Erzählungen v. M. Miert**, brosch. 12 M., geb. 15 M.  
**Frisch Druckerei: Als Zaungast am Herrgottsgarten**, brosch. 12 M., geb. 15 M. Auf alle Preise der üblichen Sortimentszuschlag.  
**A. von Stanzoni: Die Aufzeichnungen des Hyacinth Pfeffersberger**, t. b. Hofjagdgebilfe t., reich illustriert von **Prof. Ludwig Hohlwein**. In Prachteinband 25 Mark netto. Durch Buchhandlungen od. durch den Verlag **J. C. Mayer, G. m. b. H.** München, Brienerstraße Nr. 9. Fernsprecher 50812, 55351.



## Die chirurgische Behandlung der Lungentuberkulose.

Von Alfr. Brunner, München.

Die Lungentuberkulose ist für die Volksgesundheit von allergrößter Bedeutung, erliegen ihr doch jährlich im Deutschen Reich etwa hunderttausend Kranke. Es ist ohne weiteres verständlich, daß nach dem bedeutungsvollen Aufschwung der Chirurgie, der durch die Einführung der Antisepsis und Asepsis in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts einsetzte, bald auch Versuche unternommen wurden, bei dieser ungemein wichtigen Volkskrankheit chirurgisch einzugreifen.

Das Bestreben, durch operative Entfernung des erkrankten Gebietes die Heilung herbeizuführen, konnte aus verschiedenen Gründen nicht zum Ziele führen. Wenn die Erkrankung nur auf einen umschriebenen Teil der Lunge beschränkt geblieben ist, heilt sie in der Regel von selbst aus. Wollte man den erkrankten Lungenlappen herauschneiden, so wäre dazu eine große Operation notwendig, die zu den durch die Tuberkulose selbst bedingten Gefahren in keinem Verhältnis stehen würde. In den Fällen aber, in denen man mit der üblichen Behandlungsweise zu keinem Ziele kommen kann, und daher der Wunsch nach einem radikaleren Verfahren laut wird, hat das Leiden schon so ausgedehnte Teile der Lunge ergriffen, daß ihre Entfernung schon aus technischen Gründen kaum mehr möglich ist. Da man auf diesem eingreifenden Wege nach verschiedenen vergeblichen Versuchen nicht weiter kommen konnte, suchte man nach anderen Lösungen der wichtigen Frage.

Die Lungenschwindsucht führt in den schwereren Fällen durch Zerfall des erkrankten Gewebes zu Höhlenbildungen. Da das Leiden in den meisten Fällen zuerst die Lungenspitzen befällt und dann erst allmählich nach unten fortschreitet, bilden sich diese *Kavernen* vorzugsweise in den oberen Teilen der Lunge, wo die Krankheit am ältesten ist. Da diese Höhlen in ihrem Innern eitrigte Massen enthalten und bilden, ist der Vergleich mit einer gewöhnlichen Eiteransammlung, mit einem Abszeß gegeben. Weil die Chirurgie sonst überall solche umschriebene Eiterungen durch operative Eröffnung entleert und so zur Heilung bringt, war der Gedanke naheliegend, die *Kavernen* ebenso wie die *chronischen Lungenabszesse* zu eröffnen. Der erwartete Erfolg trat aber nicht ein. Die Kaverne entleerte nun ihr Sekret nicht mehr durch die Luftwege, sondern durch die Wunde, die als

Fistel bestehen blieb, nach außen. Sie konnte nicht ausheilen und verschwinden, weil die Rippen die Lungenoberfläche festhielten und ein Kleinerwerden der starrwandigen Höhle verhinderten.

Ein wesentlicher Fortschritt wurde erst erreicht, als der Behandlungsplan ein ganz anderer wurde.

Es war den Ärzten öfters aufgefallen, daß der Verlauf der Lungentuberkulose in überraschender Weise durch das Auftreten eines sog. *Pneumothorax* günstig beeinflusst wurde. Wir verstehen darunter eine Luftansammlung in der Brustfellhöhle, die dadurch entstehen kann, daß ein oberflächlich gelegener Krankheitsherd aus der Lunge in den Brustfellspace durchbricht. Es kann nun Luft aus den Luftwegen austreten und das Lungenfell allmählich ganz von dem Rippenfell trennen. Die Lunge zieht sich dank der ihr innewohnenden Elastizität gegen die Mittellinie zu zusammen. (Siehe Fig. 1.)

Der Italiener *Forlanini* (1882) kam als erster auf den Gedanken, diese Beobachtung sich zunutze zu machen, indem er künstlich Luft in die Brusthöhle einfüllte. Unabhängig von ihm wurde das Verfahren in Amerika von *Murphy* (1898) u. a. geübt. Letzterer begnügte sich aber mit einer einmaligen Einfüllung und erreichte damit nur einen vorübergehenden Erfolg, da die Luft in mehreren Tagen oder Wochen von den Geweben aufgesaugt und durch das Blut ausgeschieden wird. *Forlanini* ersetzte die Luft durch regelmäßig wiederholte Auffüllungen und ist damit zum eigentlichen Begründer der Pneumothoraxtherapie geworden.

Die günstige Wirkung des künstlichen *Pneumothorax* auf die erkrankte Lunge wird in folgender Weise erklärt. Die Lunge sinkt in sich zusammen oder wird sogar zusammengepreßt; sie wird auf diese Weise von der Atmung ausgeschaltet und ruhiggestellt. Wir erzielen damit das gleiche, was wir bei andern entzündlichen Erkrankungen auch anstreben. Wir zwingen z. B. bei einer Zellgewebsentzündung den Arm zur Ruhe, indem wir ihn auf einer Schiene festbinden; bei einer Kniegelenktuberkulose erreichen wir durch einen Gipsverband eine ideale Ruhigstellung, die eine rasche Schmerzfreiheit herbeiführt und für die Rückbildung der krankhaften Erscheinungen sehr förderlich ist. Die Heilung der Tuberkulose erfolgt dadurch, daß das kranke Gewebe allmählich durch gesundes Bindegewebe ersetzt und in Narbengewebe umgewandelt wird. So wie eine Wunde rascher sich schließt, wenn sie nicht

durch funktionelle Belastung dauernd bewegt und gezerzt wird, können auch die Heilungsvorgänge in der Lunge sich leichter abspielen, wenn sie nicht bei jedem Atemzug erweitert und gedehnt wird. Hinzu kommt, daß die kollabierte Lunge besser durchblutet ist als die geblähte. Diese Blutfülle unterstützt ihrerseits den Heilungsvorgang; wir führen sie daher auch bei anderen Entzündungen durch heiße Umschläge oder Stauung künstlich herbei.

Der künstliche Pneumothorax kann auf verschiedene Weise angelegt werden. Nach *Forlani* sticht man mit einer Hohlneedle durch die Brustwand ein, bis man den Pleuraspalt erreicht hat (*Stichmethode*). Da normalerweise zwischen den beiden Brustfellblättern ein negativer Druck von ca. minus 10 cm Wasser herrscht, wird das eingeschaltete Manometer anzeigen, ob die Nadelspitze sich an der gewünschten Stelle befindet.

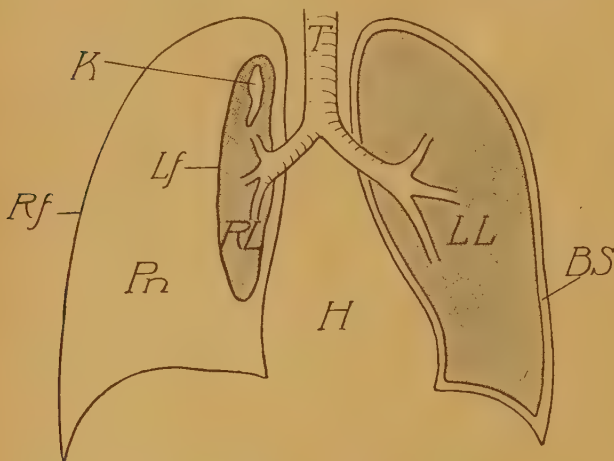


Fig. 1. Schematischer senkrechter Schnitt durch den Brustkorb.

RL = zusammengesunkene kranke rechte Lunge,  
K = spaltförmige Kaverne,  
LL = gesunde linke Lunge, H = Herz,  
T = Luftröhre, Pn = Pneumothorax,  
Rf = Rippenfell, Lf = Lungenfell,  
BS = Brustfellspace.

Wegen der noch zu besprechenden Gefahren müssen die Apparate so gebaut sein, daß sie jederzeit eine Druckkontrolle gestatten. Zur Einfüllung benutzen die einen *gewöhnliche Luft*; die andern ziehen *Stickstoff* vor, weil er weniger rasch resorbiert wird.

Nach der *Schnittmethode*, die namentlich von *Brauer* empfohlen worden ist, legt man unter örtlicher Betäubung durch einen Schnitt entsprechend einem Zwischenrippenraum das Rippenfell frei und durchstößt es mit einer stumpfen Kanüle, welche eine Verletzung der darunterliegenden Lunge ausschließt. Während man früher bei der Erstanlage des Pneumothorax gleich 1 Liter und mehr Gas einfließen ließ, begnügt man sich jetzt vorteilhaft mit 3–400 cm, wiederholt aber dafür die Auffüllungen während der ersten Zeit täglich, bis die gewünschte Größe

des Pneumothorax erreicht ist. Bei diesem vorsichtigeren Vorgehen paßt die Lunge sich leichter den veränderten Verhältnissen an. Später genügen Nachfüllungen alle 2 bis 4 Wochen, um das resorbierte Gas zu ersetzen und die Lunge unter mehr oder weniger gleichmäßigem Druck zu halten. Da die Heilung der Tuberkulose erfahrungsgemäß lange Zeit beansprucht wird, man den *Pneumothorax in jedem Falle ein bis zwei Jahre unterhalten* müssen.

Es ist ohne weiteres klar, daß eine Behandlungsmethode, welche die erkrankte Lunge sozusagen vollständig von der Atmung ausschaltet, nur bei *einseitigen Erkrankungen* in Frage kommen kann. Darin liegt von vornherein eine sehr große Einschränkung des Verfahrens. Wird diese Vorbedingung aber erfüllt, dann kann der künstliche Pneumothorax ungemein günstig einwirken; eine große Zahl von Lungentuberkulösen ist auf diesem Wege geheilt und wieder arbeitsfähig geworden.

Leider hat die Pneumothoraxbehandlung aber auch ihre Nachteile. Die Fälle müssen von sachkundiger Seite mit großer Sorgfalt ausgewählt werden; namentlich die Beurteilung der sog. gesunden Lunge bereitet ab und zu große Schwierigkeiten. Hinzu kommt, daß die Anlegung oft technisch unmöglich ist, weil die Lunge infolge früherer Rippenfellentzündungen fest mit der Brustwand verwachsen ist und daher ein sog. freier Pleuraspalt nicht mehr gefunden werden kann.

Der operative Eingriff, so klein und harmlos er erscheint, ist nicht ganz ungefährlich. Es sind plötzliche Todesfälle vorgekommen, die man durch einen Reflexvorgang erklärt: bei der Verletzung des Rippenfelles wird schockartig reflektorisch ein Herz- oder Atemstillstand ausgelöst. Besonders gefürchtet ist die *Luftembolie*. Wird durch die Nadel die Lunge angestochen, so kann aus den Lungenbläschen oder aus der Hohlneedle in eine eröffnete Vene Luft eingepreßt oder eingesaugt werden. Der Blutstrom führt die mitgerissene Luft in die linke Herzkammer, wo sie einen Herzstillstand hervorrufen kann. Wird sie aus dem Herzen in die Gefäße des großen Kreislaufes geschleudert und gelangt sie in das Gehirn, so bewirkt sie eine vorübergehende Ernährungsstörung, die unter dem Bilde eines Hirnschlages zu einer Lähmung oder zum Tode führen kann. Durch eine sorgfältige Technik kann die Gefahr der Luftembolie weitgehend vermieden werden.

Im Verlaufe der Pneumothoraxbehandlung können *Komplikationen* auftreten, welche den Erfolg oft ernstlich in Frage stellen. In der Hälfte der Fälle bildet sich in der Brustfellschleimhaut eine Ansammlung von Flüssigkeit, ein *Exsudat*, als Ausdruck einer entzündlichen Reizung des Rippenfelles. Das Exsudat ist harmlos, solange es wäbrig bleibt und nur in mäßiger Menge auftritt. Es wird gefährlich, wenn Eitererreger sich



in demselben ansiedeln, sei es, daß sie von irgend-einem Entzündungsherde auf dem Blutwege dorthin geschleppt worden oder aber aus der kranken Lunge durch das Lungenfell durchgewandert sind. Ganz bedrohlich wird die eitrige Entzündung, wenn eine oberflächlich gelegene Kaverne z. B. unter dem Einfluß eines heftigen Hustenstoßes in die Brusthöhle durchdringt. Hohes Fieber und eine rasche Verschlechterung des Allgemeinzustandes weisen auf den Ernst der Lage hin. Operative Maßnahmen zum Teil sehr eingreifender Art vermögen in den wenigsten Fällen das Unheil abzuwenden: in der Regel erliegen die Kranken dieser ersten Komplikation.

Was geschieht nun aber mit den Fällen einseitiger Tuberkulose, bei denen der künstliche Pneumothorax wegen Verwachsungen nicht angewendet werden kann?

Das Ziel der Kollapstherapie, durch eine Verkleinerung der Lunge eine Ausschaltung aus dem Atmungsgeschäft und damit eine Ruhigstellung zu bewirken, ist vorgezeichnet: es stehen uns zu seiner Erreichung verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Der kleinste, aber auch am wenigsten wirk-same Eingriff ist die künstliche Zwerchfell-lähmung durch die Phrenikotomie. Das Zwerch-fell ist ein flächenhafter Muskel, der die Brust-höhle gegen die Bauchhöhle abschließt. Bei der Einatmung zieht er sich zusammen und bewegt dadurch seine Kuppe nach abwärts: eine Erweite-rung der Brusthöhle nach unten ist die Folge. Bei der Ausatmung erschlafft das Zwerchfell und wird dabei durch den Druck der Bauch-eingeweide nach oben gedrängt, durch den nega-tiven Druck in der Brusthöhle gleichsam hoch-gesaugt. Das Zwerchfell wird durch den Zwerch-fellnerven (N. phrenicus) versorgt, der aus dem Hals- und Brustteil des Rückenmarkes entspringt und dann entlang dem Mittelfell nach unten verläuft. Er kann am Halse hinter dem Kopfnickermuskel leicht aufgesucht und durchtrennt werden. Durch seine Durchschneidung (daher der Name Phrenikotomie) wird das Zwerchfell einseitig ge-lähmt und erschlafft. Unter dem Einfluß der oben erwähnten Kräfte tritt es in die Höhe, so daß seine Kuppe die frühere Ausatmungsstellung um einige Fingerbreiten übersteigen kann. (S. Fig. 2.)

Die Operation ist von Stuertz angegeben, na-mentlich aber von Sauerbruch zur Behandlung der Lungentuberkulose eingeführt worden. Sie ist vor allem angezeigt bei umschriebenen Er-krankungen in einem Unterlappen, bei denen sie unter Umständen schon allein eine Heilung herbeiführen kann. Daneben findet sie aber weitgehende Anwendung zur Einleitung und Unterstützung der größeren operativen Maß-nahmen, auf die wir im folgenden zu sprechen kommen.

Wir haben oben schon angedeutet, daß die Tuberkulose in günstigen Fällen ausheilen kann, indem das kranke Gewebe allmählich durch bindegewebige Narben ersetzt wird. Jedes Narbengewebe schrumpft. Auf die Lunge über-tragen heißt dies, daß das ganze Organ mit der Zeit durch die Schrumpfung des Bindegewebes kleiner wird. Da die Lunge aber in der Brust-höhle durch deren verhältnismäßig wenig nach-giebigie Wände ausgespannt gehalten wird, kann diese Verkleinerung nur einen gewissen Grad er-reichen. Ist das Mittelfell nicht durch Schwar-tenbildung unnachgiebig geworden, so wird es mit seinen Organen nach der kranken Seite hin-übergezogen; es können dadurch hochgradige Verlagerungen der Luftröhre und des Herzens hervorgerufen werden. Aber auch der knöcherne Brustkorb verändert seine Gestalt; er erscheint über der kranken Lunge abgeflacht. Die Rippen werden dauernd in Ausatmungsstellung gehalten;

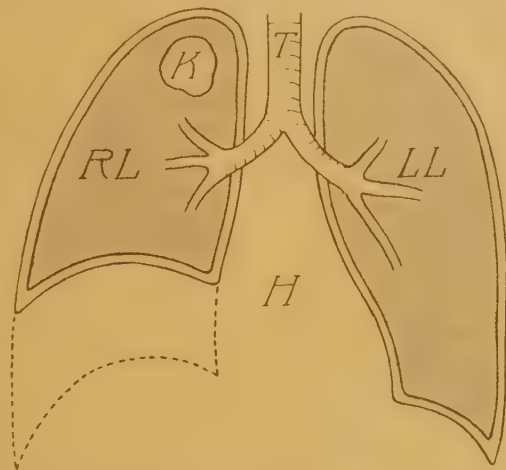


Fig. 2. Einengung der rechten Lunge RL durch Zwerchfellochstand nach Phrenikotomie. --- Ausdehnung der Lunge vor der Operation.  
K = Kaverne, H = Herz, T = Luftröhre, LL = linke Lunge.

sie verlaufen dabei steiler als vorher und werden einander genähert. C. Spengler hatte als erster den Gedanken, dem natürlichen Heilbestreben entgegenzukommen, indem die Rippen teilweise entfernt werden. Das starre, wenig nachgiebige Gefüge des Brustkorbes wird auf diese Weise unterbrochen, und die Brustwand kann dem Zuge der Lunge folgen und nach innen sinken. Die dadurch bewirkte Entspannung der Lunge fördert die Heilung in vortrefflicher Weise. Da die Operation eine plastische Umgestaltung des Brustkorbes erreichen will, die, obwohl außerhalb des Rippenfelles ausgeführt, doch eine bedeutungsvolle Rückwirkung auf die kranke Lunge selbst haben kann, wurde sie extrapleurale Thorakoplastik genannt.

Das Verfahren wurde zuerst von Brauer und Friedrich systematisch angewendet. Weil der Eingriff in der ursprünglich geübten Form sich

als zu gefährlich erwies, wurde die Methode in der Folge von Wilms und namentlich von Sauerbruch geändert. Nach den heutigen Erfahrungen bietet das Sauerbruchsche Verfahren die besten Aussichten auf Erfolg und wird am meisten geübt.

Bei der typisch ausgeführten Operation wird aus jeder Rippe hinten neben der Wirbelsäule ein Stück von ungefähr 4—8 cm Länge entfernt.

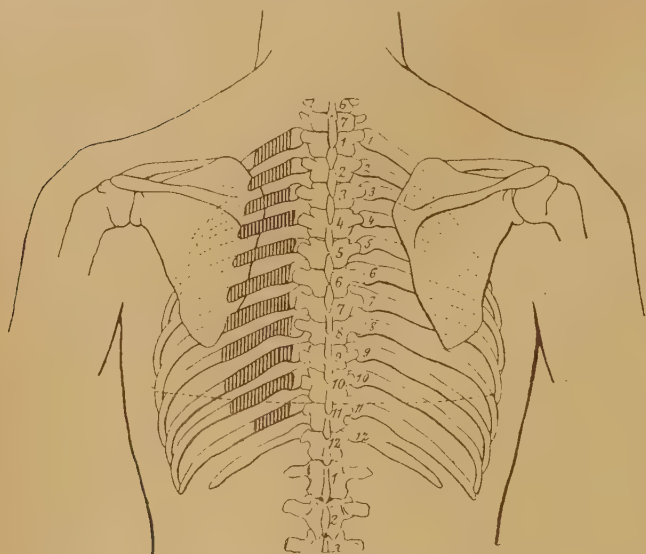


Fig. 3. Die schraffierten Rippenstücke werden bei der Operation entfernt.

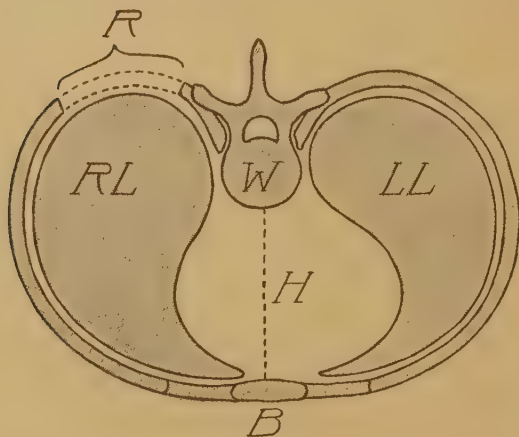


Fig. 4. Vor der Operation.

Schematische Darstellung der Brustkorbeinengung durch die Thorakoplastik. Horizontalschnitt durch den Brustkorb. RL = rechte Lunge, LL = linke Lunge, H = Herz, W = Wirbelsäule, B = Brustbein, R = zu entfernendes Rippenstück.

(S. Fig. 3.) Die zwölfte Rippe bleibt unangetastet, da sie wegen ihrer Kürze und der tiefen Lage auf die Gestaltung und Festigkeit des Brustkorbes ohne Einfluß ist. Aus den Fig. 4 und 5 geht beim Vergleich der beiden Skizzen deutlich hervor, daß schon die Entfernung eines verhältnismäßig kleinen Rippenstückes eine Verkleinerung der Brusthöhle auf die Hälfte ihres Raumes bewirken kann. Da die Knochenhaut

der Rippen bei der Operation erhalten bleibt, bilden sich von ihr aus im Laufe einiger Wochen zwischen den Rippenenden neue knöcherne Verbindungen, so daß der einseitig eingeengte Brustkorb wieder die nötige Starrheit bekommt, die für die Atmung und vor allem aber für ein richtiges Aushusten notwendig ist. Jeder Hustenstoß stellt eine durch die Zuhilfenahme der Bauchmuskulatur verstärkte rasche Ausatemungsbewegung dar, die vorübergehend eine bedeutende Erhöhung des Luftdruckes in den Luftwegen bewirkt. Da die Brustwand der frisch operierten Seite wegen der Unterbrechung des knöchernen Gefüges jedes festen Haltes beraubt ist, besteht die große Gefahr, daß beim Husten die bewegliche Brustwand nach außen gedrängt wird, indem die Druckerhöhung in der gesunden Lunge sich nach der kranken Seite hinüber fortpflanzt. Dadurch würde ein Auswerfen der schleimig-eitrigen Massen aus der kranken Lunge unmöglich gemacht; im Gegenteil bestünde die Gefahr, daß sie in die tiefer gelegenen Teile gedrängt und dort die Entstehung entzündlicher Veränderungen in der Lunge unterstützen würden. Ein wirksames Aushusten ist nur möglich, wenn die beweglich gemachte Brustwand während der gefährlichen Zeit durch geeignete Verbände gestützt und zudem bei jedem Hustenstoß durch eine genau unterrichtete Pflegerin festgehalten wird. Mit der Ausbildung der knöchernen Vereinigung der Rippenenden werden diese Maßnahmen nach einigen Wochen wieder überflüssig.

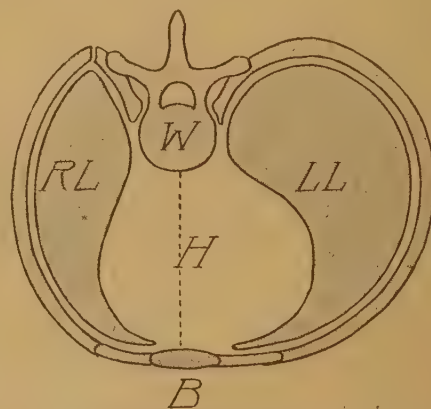


Fig. 5. Nach der Operation.

Ohne Kenntnis der anatomischen Verhältnisse würde man glauben, daß diese ausgedehnte Operation eine wesentliche Entstellung des Kranken bewirken muß. Das Lichtbild (Fig. 6) zeigt einwandfrei, daß dies nicht der Fall ist, obwohl die Röntgenaufnahmen vor und nach der Operation (s. Fig. 7 und 8) uns beweisen, daß eine bedeutende Einengung der rechten Brustkorbhälfte erreicht worden ist. Die Verschmälerung des



*Brustkorbes ist äußerlich wenig sichtbar, weil die Form der Schulter, die für den Gesamteindruck des Rumpfes von ausschlaggebender Bedeutung ist, durch die Operation nicht nennenswert beeinflusst wird. Das Bild nach der Operation (Fig. 8) läßt deutlich erkennen, wie das*

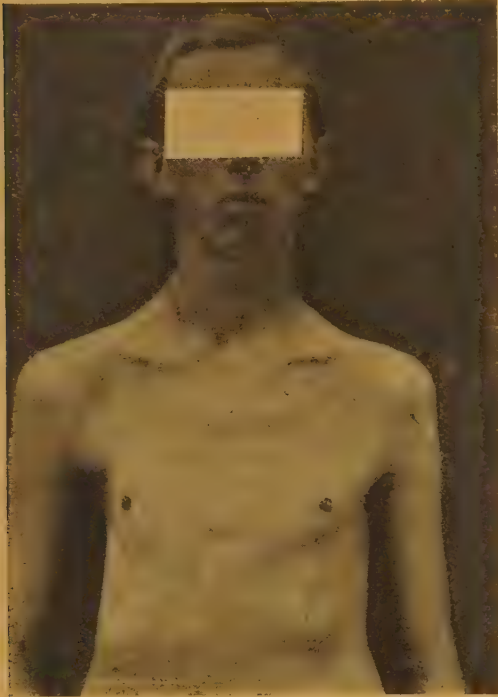


Fig. 6. Kranker mit rechtsseitiger Lungentuberkulose nach der Operation (Thorakoplastik).

ken rechten Seite. Sie ist eine Folge der Schrumpfungsvorgänge, die sich in der heilenden Lunge abspielen. Die zweite Aufnahme ist bald nach der Operation gemacht worden; die Rippenenden sind noch nicht ganz zur Berührung gekommen. Die Verkleinerung des rechten Lungenfeldes ist trotzdem schon sehr bedeutend. Das Zwerchfell ist in der oben erwähnten Weise künstlich gelähmt. Man sieht, daß es durch seinen Hochstand die Lunge von unten her in wirksamer Weise einengt.

Die günstige Wirkung der Thorakoplastik auf die erkrankte Lunge kommt im wesentlichen auf die gleiche Weise zustande, wie wir sie beim Pneumothorax erklärt haben. Beide Methoden erreichen eine *Ruhigstellung* und *Einengung der kranken Lunge* und fördern dadurch die natürlichen Heilungsvorgänge in hervorragender Weise. Ein wesentlicher Unterschied besteht aber darin, daß wir beim Pneumothorax nach vollzogener Heilung die Einengung wieder rückgängig zu machen in der Lage sind, währenddem wir durch die Plastik einen dauernden Zustand schaffen. Wir können in dieser Tatsache keinen Nachteil des Verfahrens sehen. Einerseits beobachtet man bei der späteren Wiederausdehnung einer scheinbar geheilten Lunge öfter ein Wiederaufflackern der ruhenden Krankheit, und andererseits paßt sich der Körper an die Verkleinerung der Atmungsoberfläche in der Regel so gut an, daß daraus dem Kranken keine Beschwerden erwachsen. Die nach der Operation meist beobachtete geringgradige Kurzatmigkeit verschwindet fast immer in verhältnismäßig kurzer Zeit. Außerdem macht die Pneumothoraxbehandlung

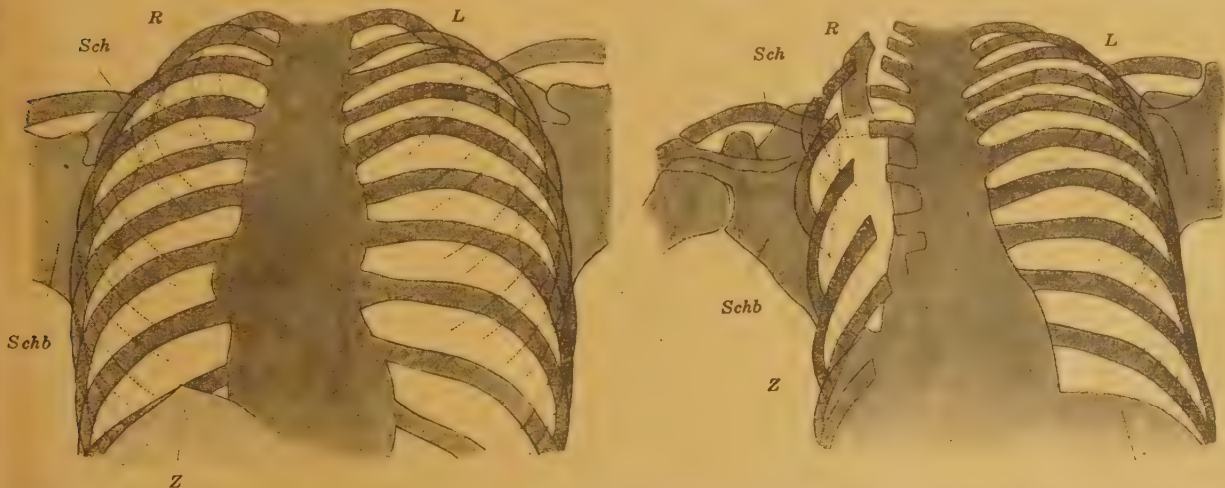


Fig. 7 und 8. Pausen nach Röntgenaufnahmen, die bei dem in Fig. 6 dargestellten Kranken vor und nach der Operation aufgenommen worden sind.

Sch = Schlüsselbein, Schb = Schulterblatt, Z = Zwerchfell, R = Rechte Seite, L = Linke Seite.

Schlüsselbein die Schulter unverändert nach außen hält, obwohl der darunterliegende Brustkorb durch die Verschmälerung sich sehr von ihr entfernt hat. Man beachte die schon vor der Operation bestehende Verschmälerung der kran-

den Kranken von immer zu wiederholenden Eingriffen des Arztes abhängig. Es ist oft schwierig, das nötige Verständnis für die Fortsetzung der Nachfüllungen zu finden, sobald eine Besserung eingetreten ist. Bei der Thorakoplastik

wird das Heilverfahren durch einen oder mehrere Eingriffe abgeschlossen.

Die schönsten Erfolge zeitigt die operative Behandlung bei jahrelang bestehenden Tuberkulosen, die sich zum Teil schon bindegewebig umgewandelt haben. Sie können aber aus mechanischen Gründen nicht ausheilen, weil Höhlenbildungen bestehen. Sie sondern dauernd bazillenhaltigen Eiter ab. Die durch die Operation bewirkte Entspannung und Kompression gibt auch ihnen die Möglichkeit auszuhellen. Der Erfolg zeigt sich im Verschwinden des Auswurfes und der Bazillen.

Es steht uns zur Kollapstherapie der Lungentuberkulose noch eine weitere Methode zur Verfügung. Anstatt bei bestehenden Verwachsungen die ganze Brustwand durch Entknochenung zu mobilisieren, kann man nach Resektion eines kleinen Rippenstückes das verdickte Rippenfell im Bereich des Erkrankungsgebietes stumpf von der Brustwand innen lösen. Die dadurch entstehende extrapleurale Höhle wird nach dem Vorschlage von Tuffier mit Fett, nach Baer vorteilhafter

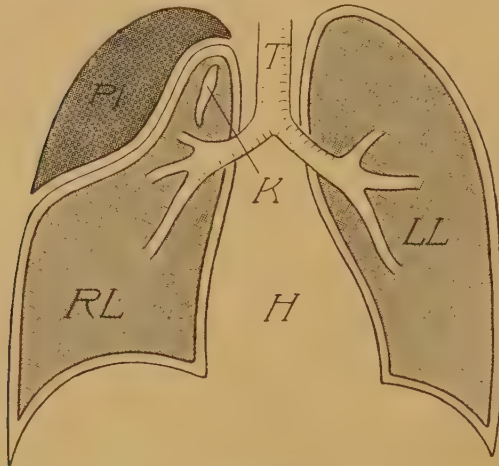


Fig. 9. Einengung des kranken Oberlappens durch eine Plombe Pl.

RL = rechte Lunge, K = zusammengedrückte Kaverne, H = Herz, T = Luftröhre, LL = linke Lunge.

mit Paraffin gefüllt: *Plombierung*. Die Fig. 9 zeigt schematisch die dadurch erreichte Einengung des kavernenhaltigen Spitzengebietes. Die Plombe heilt ein und bleibt dauernd liegen.

Die verschiedenen Methoden der Kollapstherapie sind nicht gleichwertig; jede besitzt ihre besondere Anzeigenstellung. Ihre richtige Bewertung setzt eine genaue Kenntnis des vorliegenden Krankheitsbildes voraus. Die Besprechung der rein fachärztlichen Fragen gehört nicht in den Rahmen dieser Abhandlung. Im großen ganzen wird man nach Versagen der Diät-, Luft- und Liegekuren bei frischeren Erkrankungen dem künstlichen Pneumothorax den Vorzug geben, da der Eingriff als solcher unbestritten kleiner ist als bei den anderen Operationen. Die Möglichkeit seiner Anlegung setzt

aber das Fehlen von Rippenfellverwachsungen voraus. Ist die Einleitung der Pneumothoraxbehandlung technisch nicht mehr möglich, so wird in erster Linie die *Thorakoplastik* in Frage kommen. Da diese beiden Methoden, die eine Lunge praktisch fast ganz von der Atmung ausschalten, können sie im Prinzip nur bei einseitigen Erkrankungen angewendet werden. Die *Phrenikotomie* wird in der Regel zur Ergänzung der Plastik ausgeführt. Wird die Behandlung durch dieselbe eingeleitet, so gibt sie uns unter Umständen wertvolle Aufklärung darüber, wie die Lunge auf die Ruhigstellung reagiert. Sollte der kleine Eingriff schon eine Verschlimmerung der Krankheit bewirken, so wird man von weiteren Eingriffen selbstverständlich Abstand nehmen. In diesem Sinne leistet die Phrenikotomie als eine Art Funktionsprüfung (*Sauerbruch*) wertvolle Dienste. Bei doppelseitigen Erkrankungen kann man hier und da mit ihrer Hilfe durch die Ruhigstellung der mehrkranken Seite eine auffallend günstige Wirkung erzielen. Die *Paraffinplombe* bleibt für umschriebene Spitzenkavernen vorbehalten, wo entweder die geringe Ausdehnung der Erkrankung einen großen plastischen Eingriff nicht rechtfertigt oder aber die Tuberkulose auf beiden Lungen so ausgebreitet ist, daß die Ausschaltung der ganzen Seite nicht mehr in Frage kommen kann. Die chirurgische Erfahrung wird durch eine sinnmäßige Kombination der verschiedenen Methoden unter Umständen den Erfolg bedeutend erhöhen können.

Was leistet die chirurgische Behandlung der Lungentuberkulose? Aus den Zusammenstellungen von L. Spengler, v. Muralt, Saugmann und v. Niederhäusern geht hervor, daß durch die Pneumothoraxbehandlung 21 bis 26 % der Kranken der Heilung zugeführt werden können, so daß sie wieder imstande sind, ihren Beruf aufzunehmen. Bei weiteren 38 bis 52 % der Fälle ist eine wesentliche Besserung zu verzeichnen. Die Mißerfolge schwanken zwischen 21 und 56 %. Todesfälle, die der Operation als solcher zur Last fallen, sind sehr selten; wir müssen vielleicht mit 0,5 % rechnen. Den Komplikationen der Behandlung, die wir oben eingehend besprochen haben, erliegen bis 20 %.

Die kleine Operation der *Phrenikotomie* wird wohl nie direkt einen Todesfall bewirken. Von Dauererfolgen im Sinne von Heilungen kann man kaum sprechen, da nur selten die Krankheit so günstig auf den Unterlappen beschränkt ist, daß die durch den Zwerchfellhochstand bewirkte Einengung zur vollständigen Vernarbung der Krankheitsherde führen kann. Wir können auch keine glänzenden Erfolge in allen den Fällen erwarten, bei welchen die Krankheit so weit fortgeschritten war, daß ein größerer Eingriff den Kranken überhaupt nicht mehr zugemutet werden durfte und wir die Phrenikotomie ausführen in der Hoffnung, damit eine gewisse Erleichterung und vielleicht sogar eine Besserung



zu bewirken. In den günstiger gelegenen Fällen aber, bei denen wir die Operation zur Einleitung oder Unterstützung größerer Eingriffe vornehmen, sehen wir in mehr als der Hälfte der Fälle durch dieselbe eine günstige Beeinflussung des Krankheitsverlaufes. Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse bei der *Plombierung*. In den in dem oben erwähnten Sinne günstigen Fällen kann man vollen Erfolg erreichen. Die Vorteile des Verfahrens werden aber dadurch geschmälert, daß die Plombe als Fremdkörper nicht immer glatt einheilt. Wir dürfen nach den Erfahrungen von *Sauerbruch* und *Schreiber* mit positivem Erfolg in etwa einem Viertel der Fälle rechnen.

Die Erfolge der Thorakoplastik sind sehr befriedigend. *Sauerbruch*, der auf dem Gebiete der operativen Tuberkulosebehandlung unbestritten die größte Erfahrung hat, erzielt Dauererfolge in 35 % der Fälle. Ungefähr der gleiche Prozentsatz wird gebessert. Die Sterblichkeit innerhalb der ersten vier Wochen nach der Operation beträgt 7 %. Der Rest der Kranken bleibt unge bessert oder erliegt im Verlaufe der nächsten Monate dem Fortschreiten der Erkrankung.

Man darf ein Drittel Heilungen nicht gering einschätzen, wenn man bedenkt, daß es sich fast ausnahmslos um Kranke handelt, die schon jahrelang ohne Erfolg Kuren gemacht haben, und die in der Regel Träger von Kavernen sind, die dauernd bazillenhaltigen Auswurf entstehen lassen. Wir haben es mit Schwerkranken zu tun, die ohne Operation wohl kaum wieder voll arbeitsfähig geworden wären, mit Bazillenträgern, die ihre Umgebung gefährden. Darin liegt die große soziale Bedeutung der chirurgischen Tuberkulosebehandlung, daß sie Träger von Kavernen, die aus mechanischen Gründen sogar unter den günstigsten äußeren Bedingungen nicht zur Heilung gelangen können, wieder ihrem Berufe zurückzugeben imstande ist. Unter den Operierten der Münchener Klinik sind z. B. mehrere Lehrer, die nach jahrelangem Verzicht auf die Ausübung ihres Berufes durch die Operation von den Tuberkelbazillen befreit worden sind, so daß sie ihre verantwortungsvolle Aufgabe wieder aufnehmen konnten. Wir dürfen diese Erfolge hoch bewerten, wenn wir bedenken, daß Lehrer mit bazillenhaltigem Auswurf vom Schuldienst ferngehalten werden müssen, auch wenn ihr sonstiges Befinden den Anstrengungen ihres Dienstes gewachsen wäre.

Die Mißerfolge dürfen uns nicht abschrecken, auf dem eingeschlagenen Wege weiter zu arbeiten. Sie können nicht ganz ausbleiben; wenn Kranke operiert werden, die ohne Eingriff sicherlich einem kürzeren oder längeren Siechtum erliegen würden.

Man muß sich darüber im klaren sein, daß die operative Behandlung der Lungentuberkulose niemals die bewährten internen Behandlungsmethoden verdrängen wird, weil sie aus den oben dargelegten Gründen nur für eine ganz be-

schränkte Zahl von Lungenkranken in Frage kommen kann. *Burkhardt* nimmt auf Grund seiner Erfahrungen im Deutschen Kriegerkurhaus in Davos an, daß in ca. 10 % der Fälle die Erkrankung so weit einseitig ist, daß die Kollapstherapie angezeigt erscheint. In der Hälfte dieser Fälle wird die Anlegung eines künstlichen Pneumothorax technisch möglich sein. Es bleiben also nur etwa 5 % der Lungenkranken für die eigentliche operative Behandlung übrig. Die Zahl erscheint als sehr klein; wenn wir sie aber auf die große Zahl von Lungenkranken im Deutschen Reiche beziehen, so ergeben sich daraus 50 000 Kranke, die der Operation zugeführt werden sollten. Es eröffnet sich also hier dem Chirurgen ein reiches Arbeitsfeld.

Leider hat die neue Behandlungsmethode immer noch nicht die Beachtung gefunden, die ihr zukommt. Der künstliche Pneumothorax hat sich zwar dank seiner relativen Einfachheit fast überall eingebürgert und wird an einzelnen Orten vielleicht sogar eher zu viel als zu wenig geübt. Die Thorakoplastik und die sie ergänzenden Verfahren aber sind noch sehr wenig bekannt. Wir gehen kaum fehl in der Annahme, daß in Deutschland jährlich einstweilen kaum 300 solcher Operationen ausgeführt werden. Die Schuld liegt nur zum Teil bei den Chirurgen. Die Eingriffe sind nicht so schwer, daß sie nicht von jedem einigermaßen geübten Operateur ausgeführt werden könnten. Fast wichtiger ist eine gewissenhaft sorgfältige Leitung der Nachbehandlung.

Die Auswahl der Fälle liegt aber naturgemäß nicht in der Hand des Chirurgen, sondern sie ist vor allem eine Aufgabe des Internisten, welcher die Lungenkranken in Behandlung hat. Leider stehen diese Kreise, welche in der viel geübten Pneumothoraxbehandlung die Vorzüge der Kollapstherapie kennen und schätzen gelernt haben, der eigentlichen operativen Behandlung oft noch ablehnend gegenüber. Es ist sehr zu begrüßen, wenn das kranke Publikum in geeigneter Weise darüber aufgeklärt wird, daß bei gewissen Formen der Lungentuberkulose das Messer des Chirurgen rascher und sicherer eine Heilung herbeiführen kann als endlose Liegekuren: die Initiative des Kranken kann die zögernde Zurückhaltung des Arztes besiegen! Ich möchte aber nicht unterlassen zu betonen, daß die Anzeigenstellung zur Operation von einem Arzt gestellt werden muß, der über eine gewisse Erfahrung in der chirurgischen Behandlung verfügt. Nur auf diese Weise können Enttäuschungen vermieden werden, die sonst der Behandlung als solcher zur Last gelegt werden. Mit der zunehmenden Verbreitung der neuen Behandlungsart wird die Erfahrung sich bessern und dadurch ihrerseits eine segensreiche Anwendung in immer größerem Maße ermöglichen.

Die operative Behandlung der Lungentuberkulose ist zum gesicherten Besitz der Heilkunst

geworden. Die früher gehegten Bedenken können fallengelassen werden. Die Beobachtung an mehreren Hundert Kranken hat gezeigt, daß die gefürchtete Verunstaltung nicht eintritt. Trotz der großen Eingriffe bleibt die Wirbelsäule praktisch gerade, und die Einengung des Brustkorbes wird durch die Schulter und die Weichteile der Brustwand so verdeckt, daß man von einer häßlichen Entstellung nicht reden darf. Kranke, die vor 10 und 15 Jahren operiert worden sind, leben in voller Berufstätigkeit. Eine ganze Reihe jüngerer Männer hat operiert den Krieg zum Teil sogar in der Front mitgemacht. Als sehr segensreich erweist sich die operative Behandlung der Kriegstuberkulosen. Es sind in der Münchener chirurgischen Klinik etwa 20 Kriegsbeschädigte operiert worden, die unter dem Einfluß der Strapazen des Feldzuges ihre Gesundheit verloren und in Krankenhäusern und Heilstätten vergebens Gesundung gesucht hatten; sie sind geheilt und haben ihren Beruf wieder aufgenommen.

Der Kampf gegen die Tuberkulose muß mit jedem zu Gebote stehenden Mittel geführt werden. Die Zahl der Kranken ist zu groß, als daß sie alle bis zu ihrer vollen Genesung dauernd in Heilstätten gehalten werden könnten. Der chirurgische Eingriff ist in den geeigneten Fällen imstande, die Behandlungszeit wesentlich abzukürzen. Er kann bestimmte Formen zur Heilung bringen, die ohne Operation als unheilbar gelten müssen. Man kann an der chirurgischen Behandlung nicht mehr vorübergehen. Sie wird ihre volle segensreiche Wirkung erst entfalten, wenn sie allgemein geübt wird. Möge die Zeit kommen, wo man jeden Kranken mit einseitiger Lungentuberkulose dem Chirurgen zuführt! Er ist berufen, in engem Zusammenarbeiten mit dem inneren Mediziner in den vordersten Reihen gegen die verheerenden Wirkungen der Volksseuche mitzukämpfen.

## Wie sehen wir die Natur und wie sieht sie sich selber?

Von J. v. Uexküll, Heidelberg.

(Fortsetzung.)

Wie sich Merken und Wirken in der Natur zu Einem vereinigen, würde uns völlig rätselhaft bleiben, wenn wir nicht in unseren eigenen Empfindungen ein Vergleichbares besäßen.

Wenn ich mit einem anderen Menschen ins Gespräch komme, so höre ich Laute, die meine *Merkzeichen* sind. Sie werden von mir hinausverlegt und bilden in meiner Merkwelt *Merkmale*. Dadurch erhalten sie einen doppelten Charakter: *einen aufnehmenden als Merkzeichen und einen aussendenden als Merkmale*. Mein Merkzeichen sagt mir nur: „*Ich habe Blau*“. Wird es als *Wirkmal* hinausverlegt, so bedeutet das einen Befehl an etwas Außenliegendes: „*Du sollst Blau sein*.“

Die Laute sind aber zugleich *Wirkmale* des anderen Menschen, von denen ich auf differenzierte *Willensimpulse* oder *Wirkzeichen* im anderen Menschen schließe, weil ich beim eigenen Sprechen *Willensimpulse* aussende. Von meinen eigenen Willensimpulsen, die sich meinem Gemüte als *Wirkzeichen* einprägen sollten, weiß ich aber nichts anderes, als daß sie vorhanden sind — irgendeine ausgesprochene Qualität besitzen sie nicht, da sie keine *Wirkzeichen* auslösen. Und doch müssen sie sehr verschieden in ihrer Qualität sein, denn sie beherrschen mit vollkommener Sicherheit die verschiedenen *Wirkmale* bei der Einstellung meiner Stimmbänder und die Bewegungen meiner Atemmuskeln. *Die von mir erzeugten Laute sind meine Wirkmale, die mir aber nicht durch meine Wirkzeichen zum Bewußtsein kommen, sondern nur durch Vermittelung meines Gehörs zu meinen Merkzeichen werden und als Merkmale hinausverlegt werden.*

Besäßen wir wie für unsere Merkzeichen ebenfalls bewußte Empfindungen für unsere Willensimpulse, durch die sie zu reichgegliederten *Wirkzeichen* würden, die dann beim Hinaustreten in die Erscheinungswelt zu *Wirkmalen* werden, so wären wir dem Verständnis des Naturwirkens viel näher gerückt. Dann würden wir begreifen, daß auch das Wirken einen zwiefachen Charakter besitzt, der sich uns jetzt als Einheit von Merken und Wirken oder als wissende Wirklichkeit aufdrängt.

Nichts hindert uns aber anzunehmen, daß die Natur sich in einem solchen Wirken betätigt, das den zwiefachen Charakter besitzt und *das sich einerseits als Wirkmale in allen Naturerscheinungen ausspricht, andererseits als Wirkzeichen das eigentliche Wesen der Natur ausmacht*. Alle Gesetze der belebten und unbelebten Natur, die sich in den *Wirkmalen* der Erscheinungswelt kundgeben, besäßen dann als *Wirkzeichen* einen unwandelbaren Inhalt, der zugleich Wissen und Befehl in sich schlosse. Das wäre „*wissende Wirklichkeit*“. Das wäre Merken und Wirken in eins.

Die Impulse, die unsere Muskelnerven bei jeder Bewegung unseres Körpers beherrschen, kennen wir nicht. Wir erhalten von dieser Bewegung nur Kunde vermittlels der *Merkzeichen* für die Bewegungsrichtungen.

Daher sind die *Wirkzeichen der Menschen blind*. Die *Wirkzeichen der Natur aber sind sehend*. Auf welche Weise sie sehend sind, wissen wir nicht, werden es auch wohl vor unserem Tode nie erfahren.

Da wir über die *Wirkzeichen der Natur* nichts wissen können, bleibt uns nichts anderes übrig, als ihre *Wirkmale* zu beobachten, soweit wir sie mit Hilfe unserer *Merkzeichen* oder Empfindungen aufnehmen können, um sie in *Merkmale* oder *Eigenschaften* zu verwandeln.

Auch diese Erkenntnis wird äußerst lückenhaft bleiben, wenn wir uns auf die augenblicklich gegebenen sinnlichen Wahrnehmungen beschrän-



ken. Zum Glück steht uns das Gedächtnis zu Gebote, um die entschwundenen Wahrnehmungen zurückzurufen und eine sehr merkwürdige Gemütsanlage, die uns dazu befähigt, nicht nur über die Eigenschaften der Dinge unanschaulich in Begriffen zu denken, sondern sie auch in einen geistig anschaulichen Zusammenhang zu bringen, den wir *Vorstellung* nennen.

Um das Wirkfeld der Natur, das durch die Beschränktheit unserer jeweiligen Merkwelt unserer sinnlichen Wahrnehmung entzogen ist, seinem ganzen Umfange nach wenigstens in der Vorstellung überschauen zu können, haben die Astronomen sich daran gemacht, eine Welt aufzubauen, deren Orte nicht durch die uns umhüllende Seifenblase beschränkt sind, sondern sich nach allen Seiten ins Unermeßliche vermehren. So entstand die Vorstellung des Sonnensystems mit seinen kreisenden Planeten, welches in den astrophysikalischen Modellen zur sinnlichen Anschauung gebracht wird.

Immer noch blieben es aber menschliche Orte, mit denen man den Weltenraum ausfüllte und diese behielten ihr bestimmtes Maß. Das Wort Atom für die kleinsten Stoffteilchen in der Welt sprach die Unteilbarkeit des Maßes aus. Durch die Erforschung der Stoffe mit den Hilfsmitteln der Optik stellte sich die Notwendigkeit heraus, das unseren Augen für die Betrachtung der Umwelt mitgegebene Maß immer mehr zu verkleinern und das Wort Atom wurde auf die letzten Stoffteilchen angewandt, die ein selbständiges Dasein führen.

Schließlich ließ man den Begriff einer kleinsten Raumgröße völlig fallen und identifizierte den Ort mit einem mathematischen Punkt, der keine Ausdehnung hat.

Auf die Bewegungen von ausdehnungslosen Punkten suchte man letzten Endes alle Bewegungserscheinungen in der Welt zurückzuführen.

Nun gehen aber die Bewegungen auf ein selbständiges Merkmal zurück, wovon man sich am leichtesten durch die Betrachtung der Merkwelten der Tiere überzeugen kann. Die Pilgermuschel besitzt 100 Augen, die aber, wie wir sahen, völlig unfähig sind, Gestalten wahrzunehmen, so daß man annehmen muß, ein jedes Auge besäße in seiner Merkwelt nur einen einzigen Ort und alle 100 Augen zusammen nur 100 Orte. Da die Augen im Kreis um den freien Rand der Muschelschalen herumstehen, wird ein jeder bewegte Gegenstand sein Bild nacheinander in verschiedene Augen werfen. Dies Nacheinander der Bilderzeugung in den Augen wirkt allein als Reiz auf das Gesamttier. Auf diese Weise wird die Bewegung in der Außenwelt zu einem selbständigen Merkmal.

Bei der Pilgermuschel, deren Orte entsprechend den Augen in einer Reihe gelagert sind, gibt es in ihrer Merkwelt nur eine Bewegungsrichtung, die sich umkehren kann.

In der Merkwelt einer Schnecke, deren Orte in einer Fläche ausgebreitet sind, können bereits zwei Bewegungsrichtungen als getrennte Merkmale auftreten.

Die Wirbeltiere, die im Auge einen muskulösen Akkomodationsapparat beherbergen und zugleich die Fähigkeit haben, die Bewegungen der eigenen Muskeln als Merkmal zu verwerten, besitzen eine Merkwelt, in der sich nicht nur eine Kugelschale mit Orten befindet, sondern eine ganze Reihe hintereinanderliegender Kugelschalen, die den gesamten Innenraum ihrer großen Seifenblase ausfüllen. In einer solchen Merkwelt gibt es drei Bewegungsrichtungen (Rechts-Links, Oben-Unten und Vor-Zurück).

Einen solchen Bau zeigt auch die menschliche Merkwelt. Auch in ihr werden Bewegungen als selbständige Merkmale vom Flächenmerkmal der Orte unterschieden. Daher werden die Bewegungen durch Linien von uns wiedergegeben, die nur eine Ausdehnung in der Bewegungsrichtung besitzen. Wo zwei solcher Richtungslinien sich kreuzen, entsteht der ausdehnungslose mathematische Punkt.

In der vorgestellten Welt der Physiker wird der mathematische Punkt mit dem Ort identifiziert. Die ganze Welt kann nun als unendlich groß und doch beschränkt vorgestellt werden, wenn man sich die punktförmigen Orte von einer unendlich großen Seifenblase umschlossen denkt oder als unbegrenzt, wenn man sich die Bewegungsrichtungen ins Unendliche fortgesetzt denkt.

Solche Vorstellungen, die den Mathematikern geläufig sind, haben aber mit der Wirklichkeit nichts zu tun. Diese besteht allein aus einer unübersehbaren Anzahl von selbständigen Umwelten, die durch Merkmale und Wirkmale gegenseitig ineinander verfugt sind. Auch von den wahren Handgriffen der Natur erfahren wir durch solche Spekulationen nicht das mindeste. Denn sie bestehen nur in der einseitigen Ausnutzung von Merkmalen, die unserer eigenen Seifenblase entnommen sind.

Dies wird sofort deutlich, wenn wir eine weitere Eigenschaft unseres Umweltraumes näher betrachten. Jeder von uns trennt den Innenraum seiner Seifenblase ohne weiteres in eine rechte und eine linke Hälfte. Mit welcher Sicherheit das geschieht, davon kann sich jeder überzeugen, der bei geschlossenen Augen seiner rechten Hand befiehlt, von rechts herkommend, schnell bis an die Grenze zwischen Rechts und Links zu fahren. Ebenso genau unterscheiden wir die Grenze zwischen Oben und Unten und zwischen Vorn und Hinten. Hat man die entsprechende Bewegung mit der Handfläche ausgeführt, so wird man feststellen, daß ungefähr im Gebiet der Nasenspitze sich drei Halbierungsebenen kreuzen, die den uns umgebenden Raum in acht gleiche Teile teilen. Wie bei einer Kugel durch drei rechtwinklig aufeinanderstehende Medianschnitte im Mittelpunkt acht Sektoren mit ihren rechtwinkligen Ecken

aneinanderstoßen, so treffen vor unserer Nasenspitze acht Raumausschnitte zusammen, nämlich vier vordere und vier hintere. Man kann die Sektoren ebenso gut in vier obere und vier untere oder in vier linke und vier rechte zerlegen.

Wir tragen an unserer Nasenspitze ein unsichtbares Meßinstrument mit uns herum, mit dessen Hilfe wir dauernd die Welt in drei Halbiebungsebenen teilen, auf die wir alle Bewegungen im Raum beziehen.

Unser Umweltraum ist somit immer von einem rechtwinkligen Koordinatensystem durchzogen. Er ist, wie die Mathematiker sich ausdrücken, ein *euklidischer* Raum, so genannt zu Ehren eines der größten Mathematiker, den die Geschichte kennt.

Nun denken wir uns wieder an Bord eines Ozeandampfers, dem ein anderer Dampfer begegnet. Von beiden Dampfern aus beobachtet je ein Mensch einen in den Lüften schwebenden Ballon, dann wird jeder von ihnen den Ort des Ballons dank seines Koordinatensystems einwandfrei feststellen können. Ein gemeinsames Koordinatensystem für beide Beobachter gibt es selbstverständlich nicht. Dies wird auch von einem Biologen niemals gesucht werden, weil er weiß, daß es keinen vom Subjekt unabhängigen Raum gibt und daß er es im vorliegenden Falle mit zwei voneinander unabhängigen Binnenräumen zweier selbständiger Seifenblasen zu tun hat.

Der Mathematiker hingegen, der auf einen einzigen absoluten Raum eingestellt ist, wird feststellen müssen, daß dieser Raum kein euklidischer sein kann, sondern ganz andere Eigenschaften besitzen muß, die er durch höchst scharfsinnige Berechnungen zu ermitteln sucht. Mit der Wirklichkeit der Natur aber haben diese Berechnungen nichts mehr zu tun.

Ganz gewiß gibt es auch nicht-euklidische Räume in der Natur. Wir brauchen bloß einen Blick auf den Binnenraum der Seifenblase einer Libelle zu werfen, um zu erkennen, daß er dank der Teilung der Netzhaut in zwei deutlich verschiedene Hälften nur eine wagerechte Scheidungsebene besitzen kann, die wahrscheinlich zur Einstellung auf den Horizont dient.

In anderen Merkwelten fehlt auch dieses Hilfsmittel, das für die Einordnung der primitiven Formen und einfachen Bewegungen in den Merkwelten der Schnecken und Muscheln ganz unnötig wäre.

Die Merkwelten der augenlosen Tiere sind bloße Tasträume, die sich der Gestalt des Tieres anpassen und die am Vorderende des Tieres zahlreiche, am Hinterende und an den Seiten des Tieres nur spärliche Orte aufweisen.

Die Annahme eines einzigen absoluten Raumes, der all den widersprechenden Anforderungen an die verschiedenen Binnenräume der zahllosen Seifenblasen gerecht würde, führt zu Absurditäten und ist schon deswegen abzulehnen.

Wir dürfen niemals vergessen, daß der Binnenraum der Seifenblase, den wir bei Beobach-

tung eines Tieres aus unserem Raum heraus schneiden, keinerlei Beziehung zu unserem Raum mehr besitzt und sowohl was die Zahl und Größe seiner Orte wie seiner Bewegungsrichtungen als auch was seine Einteilung durch sein Koordinatensystem nach ganz anderen Grundsätzen gebaut ist wie der Menschenraum.

Zwar ist es eine harte Zumutung, nachdem Astronomie, Physik und Mathematik den hohen Flug in den absoluten Raum gewagt haben, uns wieder in unsere Seifenblase einzukapseln. Aber diese Forderung muß gestellt werden, damit wir nicht den Boden der Wirklichkeit unter den Füßen verlieren.

Was die Beobachtung der Natur uns lehrt, ist das Vorhandensein sehr zahlreicher und sehr verschiedenartiger Binnenräume von Seifenblasen, die sowohl ihrer Form wie ihrer Einteilung nach in engsten Beziehungen zu der Organisation der Subjekte stehen, welche sie vom Keim bis zum Tode mit Naturnotwendigkeit umgeben.

Auch der nur gedachte absolute Raum bleibt immer das Erzeugnis eines bestimmten Subjektes. Er würde, wenn die Pilgermuschel denken könnte, in allen Stücken vom menschlichen verschieden sein.

## II.

Nachdem wir uns davon überzeugt haben, daß das blaue Gefängnis, das uns auf hoher See so sichtbarlich umgibt, eine allgemeine Einrichtung ist, die jeder Mensch und jedes Tier mit uns teilt, wird es uns immer sonderbarer erscheinen, daß wir die Seifenblase, die ein anderes Subjekt umschließt, niemals zu Gesicht bekommen und immer nur von unserer eigenen umgrenzt werden.

Es besteht kein Zweifel darüber, daß der Mond, der eben als feine Sichel, die sich an eine kaum erkennbare Scheibe anschmiegt, am Himmel erscheint, auch für die Passagiere des uns begegnenden Schiffes sichtbar ist, denn auch sie schauen zu ihm empor. Freilich ist es ein anderes Ding für jene frommen Inder, die ihre Blicke nach dem Wunder des Himmels richten. Sie erkennen in ihm das runde durchsichtige Trinkgefäß der Himmlischen, das diese vor kurzem bis zur Neige geleert und das sich nun wieder mit dem goldenen Labetrunk der Götter langsam zu füllen beginnt.

Wir erblicken dagegen den getreuen Trabanten unserer Erde, der durch den schwachen Reflex unseres sonnenbeglänzten Planeten eben sichtbar ist, während ein feiner seitlicher Abschnitt, direkt von der Sonne bestrahlt, sein helles Licht zu uns herüberwirft.

Als völlig verschiedenes Wesen tritt der Mond in unsere Merkwelt und in die der Inder. Aber es tritt doch sein sanfter Schein in beiden Welten als Merkmal auf, es uns überlassend, was wir daraus machen wollen.

Dagegen ist die Mauer unseres Weltgefängnisses den Indern auf dem andern Schiff ebenso



unsichtbar wie die ihre für uns. Das fordert zum Nachdenken auf. Ist etwa das Himmelsgewölbe, das uns so greifbar umgibt, kein Gegenstand? Und wenn es kein Gegenstand ist, ist es darum gar nicht vorhanden?

Man mache sich doch klar, was das für jeden von uns bedeutet, wenn man behauptet, es gäbe keinen Himmel über uns. Alles, was wir über uns erblicken, verliert seinen Zusammenhang. Sonne, Mond und Sterne, ja selbst die Wolken verlieren plötzlich ihre Bahn. Der ganze feste Zusammenhalt der Himmelserscheinungen geht verloren, wenn man ihnen das Himmelsgewölbe, diesen unentbehrlichen sichtbaren Träger, entzieht. Sie gleichen dann den Farben eines Gemäldes, dem die Leinwand fehlt, und könnten unmöglich ein Bild liefern.

Wenn also das Himmelsgewölbe eine notwendige Wirklichkeit ist, warum ist es nur dem einen Subjekt sichtbar, allen anderen aber unsichtbar?

Um diese Frage zu beantworten, müssen wir uns daran erinnern, was über das Wesen der Sinnesorgane der Menschen und der Tiere gesagt war. Sie sind insgesamt Fugen, die auf bestimmte Zapfen eingepaßt sind und nur ansprechen, wenn diese in der Merkwelt auftreten. Das Ansprechen der Fugen auf ihre Merkweltzapfen ist nun nicht bloß ein bloßes passives Ineinandergefügtwerden, sondern ist immer eine aktive Tätigkeit. Vom Sinnesorgan, das von einem Reiz getroffen wurde, eilt immer eine Erregung auf ganz bestimmten Bahnen dem Zentrum zu.

Auch ein totes Auge spiegelt auf seiner Netzhaut das ihm durch die Linse zugeworfene Bild der Außenwelt, aber es bleibt stumm. Das lebende aber redet und seine Sprache sind die Erregungswellen, die den Augennerv durchheilen, um im Gehirn zu münden.

Um diese Vorgänge tiefer zu ergründen, werfen wir vorerst einmal einen Blick in eine photographische Kamera. Auch diese ist nicht ohne Tätigkeit. Das Bild, das auf der lichtempfindlichen Platte entworfen wird, löst in ihr einen chemischen Prozeß aus, der weitergeht, solange sie vom Licht getroffen wird. Die Bewegungen der photographierten Gegenstände verändern den Prozeß, bis wir ihn unterbrechen, und das Ergebnis ist eine Platte, auf der alle bewegten Figuren unscharfe Konturen aufweisen.

Um diesen Übelstand zu vermeiden, ist unsere Kamera mit einem Momentverschluß versehen, der den Beleuchtungsprozeß auf wenige Bruchteile einer Sekunde einschränkt.

Wollen wir auch die Bewegungen der Gegenstände photographisch wiedergeben, so führen wir ein lichtempfindliches Band ruckweise vorüber, das, sobald es stillsteht, die Belichtung erfährt, aber unbelichtet weitergleitet. So entstehen die Bilderreihen, die wir aus jedem Kinematographen kennen.

Unser Auge aber steht dauernd offen und besitzt keinen sichtbaren Momentverschluß und kein

vorüberziehendes Band — und liefert dennoch scharfe Bilder der Gegenstände und übermittelt uns gleichfalls ihre Bewegungen. Wie ist das möglich?

Des vorüberziehenden Filmbandes bedarf das Auge nicht, denn es bildet die durch das Licht zersetzten Stoffe immer neu und besitzt daher eine immer frisch benutzbare Platte. Aber woher kommt es, daß keine unklaren Meldungen an das Gehirn weitergehen, denn die Netzhaut meldet alle Verschiebungen der abgebildeten Figuren durch die dauernd nach dem Gehirn entsandten Erregungswellen. Wenn wir uns im Gehirn als Empfangsstation aller Wellen eine unbewegte Platte denken, die für die Erregungswellen empfindlich ist, wie die Netzhaut für die Lichtwellen, so müßte sie die gleichen Verzerrungen aufweisen, wie die Platte des Apparates ohne Momentverschluß.

Das ist aber nicht der Fall. Wir sind daher gezwungen, im Gehirn eine Einrichtung anzunehmen, die den Momentverschluß ersetzt. Nur die Erregungswellen, die innerhalb einer bestimmten Zeitspanne liegen, werden zu einem Bilde vereinigt. Die darauffolgenden zu einem neuen usw.

Diese Zeitspanne läßt sich messen und es hat sich herausgestellt, daß sie für einen normalen Menschen, der sich in voller Ruhe befindet, zirka  $\frac{1}{10}$  Sekunde beträgt. Dementsprechend nimmt er eine Bewegung, die in weniger als  $\frac{1}{10}$  Sekunde abläuft, nicht als Bewegung wahr. So sehen wir an einem schnellfahrenden Wagen keine bewegten Speichen der Räder, sondern nur einen sie verbindenden Schleier. Andererseits wird eine Bewegung, die so langsam ist, daß sie alle zehntel Sekunde nur um einen Ort weiterrückt, gleichfalls nicht mehr wahrgenommen, weil stets zwei Nachbarorte untermerklich voneinander verschieden sind. Dementsprechend tritt eine Bewegung in unserer Merkwelt nur dann als Merkmal auf, wenn sie länger als  $\frac{1}{10}$  Sekunde währt und sich in dieser Zeit über mehr als zwei Orte erstreckt.

Das gilt für die Merkwelten der Menschen. In den Merkwelten der Tiere finden wir ganz andere Werte. Die Tauben, die im letzten Augenblick vor einem heranrollenden Wagen auffliegen, bewahren ihre Ruhe, weil ihre Momente viel kürzer sind als die des Menschen und sich daher eine jede Bewegung in ihrer Merkwelt viel langsamer vollzieht. Andererseits dürfen wir annehmen, daß der Moment der Pilgermuschel viel länger ist als unserer. Daher vollziehen sich die Bewegungen in ihrer Merkwelt viel schneller, und der für unser Auge sich unmerklich heranschleichende Seestern, der Todfeind aller Muscheln, läuft in der Merkwelt der Pilgermuschel wie für uns ein Pferd. Über den Moment der Fliegen kann jeder Versuche anstellen, der sie mit der Hand fangen will.

Wir nennen Moment jene Spanne Zeit, die ein Lebewesen verwendet, um äußere Eindrücke als gleichzeitiges Merkmal aufzunehmen.

Die Ursache hierzu liegt in einem inneren Rhythmus des Zentralnervensystems, der bei verschiedenen Tieren große Verschiedenheit aufweist.

Der innere Rhythmus ist von großem Einfluß auf die Gestaltung der Merkwelt. Denn er allein bestimmt, welche Bewegungen als Merkmale in der Merkwelt eintreten. Wir Menschen sind dergestalt in unsere Merkwelt eingepaßt, daß der Gang der Sonne am Himmelsbogen uns unmerklich bleibt.

Innerhalb eines Momentes ist unsere Merkwelt ein in sich abgeschlossenes ruhendes Ganzes. Streng genommen steht in jedem folgenden Moment eine neue Merkwelt vor uns. Was diese Merkwelten miteinander verbindet, ist lediglich die untermerkliche Verschiedenheit der einzelnen Momente, die eine durchgehende Kontinuität der momentanen Merkwelten vortäuscht. Infolgedessen werden die Bewegungen der Gegenstände als ununterbrochene wahrgenommen, selbst wenn sie, wie im Kino, aus lauter kleinen Sprüngen bestehen, die nur kürzer sein müssen als  $\frac{1}{10}$  Sekunde.

Die zeitlich aufeinanderfolgende Merkweltenreihe läßt sich als Merkwelttunnel plastisch darstellen, wenn man jede einzelne Merkwelt zweidimensional auffaßt und sie nun wie runde Scheiben aneinanderlegt. Die Dicke einer jeden Scheibe entspricht dann einem Moment.

Diese Darstellung hat ihre großen Vorteile, denn sie ermöglicht es uns, das ganze Leben eines Tieres zu einer Einheit zusammenzufassen und die zeitlichen Abschnitte, in die es sich gliedert, zu übersehen. Kindheit, Jugend, Mannes- und Greisenalter des Menschen ebenso wie die Perioden von Ei, Raupe, Puppe und Schmetterling erscheinen uns dann als eine plastische Einheit, deren Gesetzmäßigkeit in die Augen springt.

Es ist aber ganz unzulässig, die zeitlich aufeinanderfolgenden Veränderungen der Merkwelten, die auf eine Reihe selbständiger Momente zurückgeht, als eine neue Dimension aufzufassen, die irgend etwas mit den Dimensionen des Raumes zu tun hätte. Zwar sind die in bestimmten Dimensionen ablaufenden Bewegungen in unserem Merkwelttunnel nur durch den Wechsel der Merkweltreihe erkennbar. Aber ihre Richtung im Raum hat nichts mit ihrer Geschwindigkeit in der Zeit zu tun.

Der Begriff einer „Raumzeit“ oder eines „Zeitraumes“ kann nur Verwirrung stiften und hat nichts mit der Wirklichkeit zu tun, so feine Aperçus die Mathematiker auch daran knüpfen mögen.

Das Aufnehmen von Merkmalen — das Merken — ist eine Tätigkeit des Subjektes wie das Wirken und erfolgt entsprechend den Gesetzen, die diese Tätigkeit regeln. Dies Gesetz schreibt einem jeden Tier einen anderen Rhythmus seiner Merktätigkeit vor. Dementsprechend entsteht um jedes Tier von Moment zu Moment ein neues

Merkbares. Das Merkbare ist seine Merkwelt. Diese Merkwelten bleiben in ihren Grundzügen einander gleich, weil jedes Tier die gleichen Fugen seiner Sinnesorgane den gleichen Zapfen oder Merkmalen dauernd entgegen streckt.

Der Momentrhythmus eines Tieres bildet nie ein Merkmal für ein anderes Tier. Trotzdem versteht es die Natur, den Rhythmus des einen Tieres im Interesse eines anderen auszubeuten. So sind die Bewegungen der *Amoeba verrucosa* so langsam, daß sie für die flinken Rädertierchen unmerklich bleiben, so daß sie plötzlich am gefährlichen Räuber festkleben.

Wir entdecken hier wiederum die gewaltige Überlegenheit der Natur über das einzelne Subjekt. Das Subjekt erbaut seinen Merkmalstunnel zwar entsprechend seinem inneren Rhythmus von Moment zu Moment. Aber seine Momente können niemals zum Merkmal eines anderen Subjektes werden. Sie stellen das Gesetz der Bewegungen in seiner Merkwelt dar, sind aber selbst keine Bewegungen, die auf andere Subjekte wirken können.

Ganz das gleiche gilt auch für die Orte. Das Auge eines Tieres kann wohl zum Merkmal für ein anderes Tier werden, niemals aber die Anzahl der Orte, die dieses Auge seiner Merkwelt erteilt. Die Zahl der Orte, die ein Auge seiner Merkwelt erteilt, unterliegt ebenfalls dem Gesetz der Merktätigkeit dieses Organs.

Und nun gelangen wir endlich zur Lösung der anfangs gestellten Frage betreffs der Unsichtbarkeit unseres Himmelsgewölbes für andere Subjekte. Die Zahl der Kugelschalen, in denen die Orte angeordnet sind, bestimmt nicht nur die Entfernung des Horizontes von uns, sondern auch die Form der Kugelschalen bestimmt die Form, mit der das Sichtbare (das sich allein in Orten kund tun kann) sich um uns schließt. Daher ist das Himmelsgewölbe, das sich uns als Form des Sichtbaren offenbart, nur der Ausdruck eines formgebenden Gesetzes in uns, so wird das Himmelsgewölbe gegenständliche Wirklichkeit, ohne doch selbst Gegenstand zu sein.

Orte, Richtungen und Momente, die als Mittel dienen, um die Merkmale eines Subjektes zu ordnen, und die recht eigentlich die Grundpfeiler seiner Merkwelt bilden, bleiben für jeden Außenstehenden unsichtbar. Sichtbar bleiben sie aber der Natur.

Die Reize hingegen, die in den verschiedenen Merkwelten zu spezifischen Merkmalen umgewandelt werden, können in mehreren Merkwelten, wenn auch stets in einem anderen Gewande, zugleich auftreten. Das spezifische Gewand, das jeden Reiz erst zum Merkmal macht, bleibt dabei dem fremden Subjekt ebenso unsichtbar wie die Anordnung der Merkmale in einer anderen Merkwelt.

Nachdenkliche Leute bleiben bisweilen vor einer Wiese stehen und sagen sich: „Ich nenne die Wiese grün, du nennst sie auch grün — aber



ob die Empfindung, die ich mit dem Worte „Grün“ bezeichne, dieselbe ist wie die deine — wer vermag das zu sagen?“

Das ist vollkommen richtig. Das gleiche Merkmal, das mich erregt, mag auch auf andere Subjekte einwirken und in jedem von ihnen ein Merkzeichen auslösen, ob diese Merkzeichen mit meiner Empfindung identisch sind oder ob sie in allen Subjekten verschieden sind, wird niemals auszumachen sein.

Die Möglichkeit des Auftretens von Merkzeichen ist an das Vorhandensein von lebender Substanz gebunden. Wie wir wissen, erscheint die lebende Substanz, auch Protoplasma genannt, niemals anders als in der eines Subjektes, das einen eigenen Weltmittelpunkt bildet und durch eingepaßte Merkmale zu individueller Tätigkeit veranlaßt wird. Das gleiche Verhalten wiederholt sich immer wieder, mag man eine einzelne lebende Zelle vor Augen haben oder ein ganzes Tier, das aus Millionen von Zellen besteht. In diesem Falle bilden die Millionen Zellen gemeinsam ein neues Subjekt, ohne durch den Verband, in den sie eingetreten, ihre Eigenschaften als Subjekte einzubüßen. Denn selbst beim einfachen Reflex, der maschinenmäßig abzulaufen scheint, haben wir es mit einer Kette von Subjekten zu tun, die sich gegenseitig reizen und dadurch die Erregung, die durch einen äußeren Reiz in der Sinneszelle ausgelöst wurde, bis zur Muskelzelle übertragen. Eine jede Zelle besitzt ihr eigenes Merkmal, ihre eigene Erregung und ihr eigenes Wirkmal, das als Merkmal für die nächstfolgende Zelle der Reflexkette dient.

Durch die Anerkennung des Merkmals bei einer jeden Zelle geben wir implizite zu, daß sie ein eigenes Merkzeichen besitzt, das durch Hinausverlegen in die winzige Merkwelt erst den Reiz in ein Merkmal verwandelt. Dies mag ausdrücklich zugestanden werden, nur vermögen wir nichts über dies Merkmal der Zelle anzugeben und sehen uns daher gezwungen, mit dem Reiz, der ein Merkmal unserer menschlichen Merkwelt ist, zu arbeiten.

Die Unmöglichkeit, selbst bei höheren Tieren die Merkzeichen anzugeben, zwingt uns dazu, die Merkwelt eines jeden Tieres nicht aus seinen Merkmalen, die seinen Merkzeichen entsprechen, aufzubauen, sondern unsere menschlichen Merkmale zu benutzen, die unseren Merkzeichen wie Blau, Hart, Dort usw. entsprechen.

Das Eingreifen der dem fremden Subjekt angehörigen Merkzeichen erkennen wir mittelbar durch das Studium der Anordnung, in der unsere Merkmale sowohl der Zeit wie dem Raum nach geordnet in seiner Merkwelt auftreten. Auch hierbei nehmen wir unsere Merkzeichen für die Orte, Richtungen und Momente zu Hilfe. Da diese jedoch keine selbständigen Empfindungen sind, sondern nur der Ordnung der übrigen Empfindungen dienen, fällt der Unterschied zwischen unseren eigenen und den fremden Merkzeichen

fort, sobald wir einmal die Ordnung in der fremden Merkwelt festgestellt haben. Wir betrachten dann die fremde Merkwelt, als sei sie, was Raum und Zeit betrifft, aus den Merkzeichen des fremden Subjektes aufgebaut.

Daraus geht bereits hervor, daß die Merkmale aller Welten zwei Arten von Merkzeichen entsprechen, nämlich Ordnungszeichen und Inhaltszeichen. Die ersten bestimmen die Form und den Rhythmus, die zweiten den Inhalt, der sich ablösenden Seifenblasen, welche in ihrer Gesamtheit den Merkmaltunnel eines jeden Subjektes darstellen.

Den Merkmaltunnel erweitern wir zum Umwelttunnel, indem wir außer den Merkmalen der Objekte, die sie zu Merkmalträgern machen, auch noch die Wirkmale einzeichnen, wodurch die Objekte zu Wirkungsträgern werden. Das ist darum möglich, weil, wie wir wissen, Merkmals-träger und Wirkungsträger immer an das gleiche Objekt gebunden und durch dessen Gegengefüge miteinander verbunden sind.

So gelingt es den Lebensweg eines jeden Subjektes vom Moment der Fertigstellung seines Körpergefüges bis zu seinem Tode mit uns wohl-bekannten Objekten zu umsäumen, die wir freilich je nach ihren Merkmalen und Wirkungs-flächen, die dem jeweiligen Subjekt allein zugänglich sind, in der Vorstellung ummodellieren müssen, um schließlich festzustellen, welche Dinge es sind, die die einzelnen Umwelten bevölkern.

So erhalten wir für den Regenwurm einen Lebenstunnel, der nur Regenwurmdinge enthält — für die Libelle einen Tunnel, der sich allein aus Libellendingen zusammensetzt usw.

Überall und zu jeder Zeit ist jede momentane Seifenblase vollkommen geschlossen, weil sie der Ausdruck der Merkzeichen für die Ordnung im Raume ist. Unmittelbar an sie fügt sich die nächste Seifenblase, die im nächsten Moment geschaffen wird von den Merkzeichen für die Zeit.

Unerhört vielgestaltig und abwechslungsreich bietet sich die Natur dem Auge des beobachtenden Biologen dar, der sich nicht damit begnügt, seine Welt mit allerlei Tieren zu bevölkern, sondern sich der Aufgabe bewußt bleibt, auch die Welten der Tiere in seinen Gesichtskreis zu ziehen.

(Schluß folgt.)

## Besprechungen.

Soergel, W., *Die Jagd der Vorzeit*. Jena, G. Fischer, 1922. 149 S., 28 Textfiguren und 1 Tabelle. Preis geh. M. 24,—; geb. M. 34,—.

„Die Jagd war die Lebensgrundlage, der Lebensinhalt des paläolithischen Menschen. Sie war der Brennpunkt seiner gesamten Kultur.“ Mit diesen Worten kennzeichnet der Verfasser, der schon vor zehn Jahren in einer wichtigen Abhandlung („Das Aussterben diluvialer Säugetiere und die Jagd des Eiszeitmenschen“, Jena, G. Fischer, 1912) dieses Problem im Zusammenhang mit der Frage des Schuld-



anteils des prähistorischen Menschen am Aussterben der eiszeitlichen Großsäugetiere behandelt hat, die allgemeine Bedeutung der Frage nach der Jagd des vorzeitlichen Menschen. Sowohl der Prähistoriker wie der Paläobiologe haben hier ein gleich wichtiges Forschungsgebiet, auf dem bereits sehr viele Tatsachen und Beobachtungen zusammengetragen worden sind. So erscheint der Zeitpunkt richtig gewählt, das ganze Problem der Jagdmethoden, der Jagdtiere und des Jagderfolges des prähistorischen Menschen zu einem übersichtlichen und kritisch beleuchteten Gesamtbilde zu vereinigen.

Wenn es auch im ersten Momente scheinen sollte, daß wir bei einer Untersuchung der ganzen Frage doch noch zu sehr im Dunkeln herumtappen, um sie einer wissenschaftlichen Behandlung zuführen zu können, so ergibt sich jedoch bei genauerer Überlegung, daß die notwendigen Grundlagen für eine solche Untersuchung doch bereits in ziemlichem Umfange ein Eindringen in das Problem und eine Beantwortung zahlreicher bisher entweder ungelöster oder einstweilen offen gebliebener Fragen gestatten. Zunächst liefert uns ja schon die relative Häufigkeit von Resten bestimmter Tierarten an jenen Stellen, die wir als Kulturschichten des prähistorischen Menschen erkannt haben, einen Aufschluß über die von dem Jäger der Vorzeit bevorzugten Jagdtiere. Das Zahlenverhältnis zwischen jungen und erwachsenen Individuen gibt einen Aufschluß darüber, ob dem Jäger vorwiegend junge Stücke zum Opfer gefallen sind oder ob sich die Jagdbeute gleichmäßig auf alte und junge Tiere verteilte. Die Beschaffenheit seiner Waffen ergibt sich aus einer Analyse der Artefakte, die an den Stätten gefunden worden sind, an denen der vorzeitliche Jäger seine Mahlzeitreste hinterließ. Endlich erhalten wir aus dem allgemeinen Landschaftsbilde und dem ganzen Faunencharakter des jeweiligen Jagdgebietes des prähistorischen Menschen wichtige Aufschlüsse über den Charakter des Jagdgebietes. Das auf diese Weise in den Grundzügen umrissene Bild wird nun weiter durch paläobiologische Untersuchungen über die Lebensgewohnheiten der gejagten Tiere, ihre Wehrhaftigkeit und die verschiedenen Mittel, sich den Nachstellungen des Jägers zu entziehen, eine weitere Ausgestaltung erfahren können; spezielle Umstände an den verschiedenen Fundstationen werden weiter zu berücksichtigen sein, und es wird endlich auf viele noch offen bleibende Fragen auf dem Wege eines Analogieschlusses eine Antwort gefunden werden können, wenn die Jagdmethoden, die Waffen und die Jagderfolge der heutigen im Naturzustande lebenden Völker zum Vergleiche herangezogen werden. Auf diesem Wege und bei Berücksichtigung dieser Untersuchungsmethoden muß es gelingen, zu viel bestimmteren Vorstellungen über „die Jagd der Vorzeit“ zu gelangen, als es früher bei einer rein spekulativen Behandlung des Problems möglich gewesen ist.

Gehen wir bei unseren Untersuchungen zunächst bis in das Altpaläolithikum zurück und lassen wir die höheren Kulturstufen des Jungpaläolithikums einstweilen außer acht, so stehen wir bereits vor einem in früherer Zeit vielfach ungelöst gebliebenen Rätsel, wie es dem primitiven Menschen, z. B. dem der Moustérienzeit, möglich gewesen sein konnte, mit so ungemein primitiven Waffen, wie es die erhalten gebliebenen Steinwaffen aus dieser Zeit sind, eine erfolgreiche Jagd auf größere Tiere auszuführen, die doch allem Anschein nach dem Moustérienmenschen zur Beute gefallen sind, da wir ihre Knochen und Zähne unter

seinen Mahlzeitresten antreffen. Die Steinartefakte des Moustérien sind ebenso wie die der noch älteren Kulturstufe des Acheuléen und des Chelléen so weit von dem Typus einer für den Nahkampf erfolgreichen Stoßwaffe oder Lanze entfernt, daß es in der Tat immer eine schwierige Vorstellung war, sich den Menschen dieser Zeit im Nahkampf mit den Großsäugetieren dieser Zeit zu denken. Es erscheint darum als ein wichtiger Fortschritt, daß aus Vergleichen mit den Waffen der heutigen Bewohner von Neupommern der Schluß gezogen werden konnte, daß die altpaläolithischen Jäger wahrscheinlich ebenfalls mit *Holz-*waffen, d. h. mit Holzspeeren ohne Steinspitzen bewehrt gewesen sind und diese Holzspeere als hauptsächlichste Angriffswaffen benutzt haben dürften. Freilich wird man sich davor hüten müssen, zu früh und zu bestimmt einen Schluß auf alle Kulturkreise des Altpaläolithikums anzuwenden. Wenn auch *Soergel* (S. 54) hervorhebt, daß nur selten der Beweis zu führen ist, daß die in „Bärenhöhlen“ zusammen mit Spuren des Altpaläolithikers gefundenen Reste des Höhlenbären wirklich zu der Jagdbeute des Menschen zählen (z. B. am Sirgenstein und in der Schipkabhöhle) und daß an einen direkten Angriff des Menschen mit Holzspeeren auf ein so großes Wild nicht zu denken sei, daß aber auch die primitiven Waffen aus roh zugeschlagenen Feuersteinen keinen Nahkampf gestatteten, so muß dem entgegengehalten werden, daß die im Jahre 1921 in der Drachenhöhle bei Mixnitz durchgeführten Ausgrabungen ergeben haben, daß nicht nur auch hier zweifellos der Höhlenbär ein Hauptjagdtier des Moustérienmenschen war, sondern daß er auch, wie die bis jetzt vorliegenden acht Schädel und Schädelfragmente beweisen, stets durch Hiebe mit *scharfschneidigen* Waffen (Steinhacken) über die Schnauze erlegt worden sein muß, wie sowohl die in der Kulturschichte gefundenen, angebrannten Schädel als auch die Schädel alter Tiere mit verheilten Verletzungen beweisen, die ohne Ausnahme auf die linke Gesichtshälfte beschränkt sind (von der Schnauzenspitze bis zum Supraorbitaldach). Deutlich ist zu sehen, daß es dem eiszeitlichen Bewohner der Drachenhöhle nur gelungen ist, kleine, d. h. einjährige und höchstens noch zweijährige Höhlenbären im Nahkampfe zu fällen, wobei die übereinstimmende Lage der verletzten Stellen an den acht Exemplaren beweist, daß der Jäger ein Rechtshänder gewesen sein muß; die Höhlenbären, die dem Angriffe noch entrinnen und ihre Verletzung ausheilen konnten, sind später im voll erwachsenen oder sehr alten Zustand eingegangen; was sich an Knochenresten des Höhlenbären zwischen Holzkohlen, Asche und Trümmern von Steinwaffen in der Kulturschichte der Drachenhöhle vorgefunden hat, gehört ausnahmslos ganz jungen Tieren an. Dieses Beispiel zeigt, daß wir uns hüten müssen, zu früh zu verallgemeinern und daß doch auch aus der Moustérienzeit Anzeichen dafür vorliegen, daß der Mensch es wagte, dem Höhlenbären im Nahkampfe nur mit der äußerst primitiven Steinaxt gegenüberzutreten und daß er es auch bei diesem scheinbar sehr ungleichen Kampfe zu jagdlichen Erfolgen bringen konnte. Die Größe der erlegten, beziehungsweise der im Nahkampfe angefallenen Exemplare des Höhlenbären in der Drachenhöhle hat, wie sowohl die Größe der Reste im Bereiche der Feuerstätten als auch die Dimensionen der durch die Verletzungen im Wachstume behinderten Schnauzenknochen der später eingegangenen Tiere einwandfrei beweisen, die Größe eines erwachsenen Braunbären nicht überschritten, der sowohl im Altpaläolithikum



wie im Jungpaläolithikum im Beutematerial der Jäger eine große Rolle spielt.

Daß im Altpaläolithikum der Gebrauch von Pfeil und Bogen noch ganz unbekannt war, wie auch *Soergel* hervorhebt (S. 22), dürfte wohl als sicher anzunehmen sein; daß jedoch auch für das Jungpaläolithikum das gleiche gelten soll, wie *Soergel* annimmt, scheint mir noch nicht im gleichen Maße festzustehen. Wir kennen z. B. aus dem Aurignacien von Krems a. D. in Niederösterreich eine sehr große Zahl von „*Mikrolithen*“, die mit einem großen Grade von Wahrscheinlichkeit als Pfeilspitzen angesprochen werden dürfen. Es ist nun doch nicht so ohne weiteres die Möglichkeit abzulehnen, daß diese Pfeile mittels Bogen geschossen worden sind, und es besteht, wie mir scheint, kein zwingender Grund für die Annahme, daß sie nur mit Hilfe von Wurfhölzern oder Pfeilschleudern geworfen worden sind. Auch möchte ich nicht mit derselben Bestimmtheit, wie es *Soergel* getan hat (S. 23), die Kenntnis von Pfeilgiften für den Jäger des Altpaläolithikums ablehnen. Wenn auch zur Bereitung der meisten Pflanzengifte langes Auslaugen oder Einkochen erforderlich ist und wir diese Kenntnisse z. B. für den Jäger der Aurignacienstation von Krems vielleicht nicht voraussetzen dürfen, so ist doch andererseits als gewiß anzunehmen, daß schon dem Altpaläolithiker sehr genau bekannt war, was für Wirkungen die Vergiftungen mit Ptomainen, d. h. mit Leichengift, zur Folge hatten. Schon eine Schwächung des getroffenen Tieres, das im Wundbette leichter überwältigt werden konnte, als wenn es bei voller Kraft und Gesundheit dem Angreifer entgegentrat, mußte eine Jagdmethode mit vergifteten Waffen für vorteilhaft erscheinen lassen. Sicher ist es ja wohl — und das hat ja *Soergel* schon 1912 eingehend begründet —, daß die Fallgrabenjagd bei den paläolithischen Jägern eine sehr große Rolle gespielt haben muß und daß sogar schon der Homo heidelbergensis mit dieser Jagdart auf den Waldelefanten (*Elephas antiquus*) vertraut gewesen zu sein scheint (S. 104). Das gleiche hat schon *M. Hoernes* für die Station am Hundssteige bei Krems wahrscheinlich gemacht, und der von mir erbrachte Nachweis (Verh. Zool. Bot. Ges. Wien, 52. Bd., 1911, S. 55), daß die Mammutfunde dieser Station unmittelbar vor dem Einstiege in den heute noch erhaltenen Wechsel über den Felshang in das Kremstal hinab liegen, hat dieser Vermutung einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit verleihen können. *Soergel* führt den überzeugenden Nachweis, daß der Moustérienjäger von Taubach bei Weimar den Waldelefanten gleichfalls in Fallgruben gefangen hat und führt eine weitere Reihe von Beispielen für diese Fangmethode an, die bei geringer Gefahr für den Jäger einen großen Erfolg verbürgte.

Gewiß ist es nicht wahrscheinlich, daß in späteren Zeiten des Paläolithikums, für die der Gebrauch von Pfeil und Bogen durch Funde von steinernen und knöchernen Pfeilspitzen als gesichert scheinen darf, wenn auch die hölzernen Bogen selbst nicht erhalten geblieben sind, die Großsäugetiere mit diesen Waffen allein gejagt wurden. Es wird aber doch gelegentlich auch auf Großwild mit ebensolchem Erfolg ein Angriff unternommen worden sein, wie wir dies nach den Berichten von *P. und Fr. Sarasin* (1908) von den Weddas kennen, die einen Pfeil unter Zuhilfenahme der den Bogen haltenden Füße mit so großer Kraft abzuschließen verstehen; daß er in den Leib eines Büffels bis zur Befiederung eindringt und ein Schwein vollkommen durchbohrt. Da auf diese Weise der Wedda auch den ceylonischen Elefanten erlegen kann, so ist

eine analoge Jagdmethode auch für den prähistorischen Jäger Europas, der das Mammut jagte, nicht ohne weiteres auszuschließen.

Von größtem Interesse sind die Darlegungen über die Liste der vom prähistorischen Jäger erlegten und gejagten Tiere, die *Soergel* mitteilt. Seine eingehenden Untersuchungen machen es nahezu gewiß, daß der Neandertaler, obwohl ihm an den verschiedenen Orten, wo er jagte, die Gelegenheit dazu nicht fehlte, doch keinen Fischfang betrieben hat. Nur an einer einzigen der vielen altpaläolithischen Stationen Deutschlands (in der großen Fundschicht im Kalktuff von Taubach) sind einige Fischwirbel angetroffen worden, und es ist nicht einmal hier ganz sicher, daß diese dürftigen Reste Überreste menschlicher Mahlzeiten darstellen. Die Frage der schwierigeren Erhaltungsbedingungen für so zarte Reste kommt kaum in Betracht, denn vom Aurignacien angefangen werden Fischreste in den Fundstationen immer häufiger, und es ermöglichen in diesen späteren Zeiten Harpunen und knöcherne Angelhaken ein wirkliches Angeln, während der Fischfang in älterer Zeit doch wohl nur durch Steinwürfe oder durch Greifen hätte erfolgen können, Methoden, die bei einiger Geschicklichkeit doch immerhin auch beachtenswerte Erfolge liefern können. Dem Verzicht auf den Fischfang in altpaläolithischer Zeit reiht sich aber auch das auffallende Fehlen von Vogelresten in diesen Stationen an, das nach *Soergel* gleichfalls dahin auszulegen ist, daß der Altpaläolithiker auf die Vogeljagd vollständig verzichtet hat. Wie bei der Fischjagd scheint auch bei der Vogeljagd der Eintritt des Jungpaläolithikums mit dem Auftreten der Rasse von Aurignac und später der Cro-Magnon-Rasse in Europa einen Umschwung herbeigeführt zu haben, denn von diesem Zeitpunkt an nehmen Vogelreste als Mahlzeitreste in den verschiedenen Stationen auffallend zu.

Bei der Fülle von Material, das *Soergel* in seinem außerordentlich lesenswerten Buche bespricht, ist es unmöglich, eine auch annähernd vollständige Übersicht des Inhaltes zu geben. Sind auch noch viele Fragen offen geblieben und bedarf es weiterer gespannter Aufmerksamkeit bei der Deutung der vorhandenen und der zuströmenden Funde, die ein Licht auf die Jagdtiere und die Jagdmethoden des paläolithischen Menschen werfen können, so ist doch durch die vorliegende Untersuchung schon ein sehr weiter Schritt nach vorwärts getan. Das Buch, das im besten Sinne des Wortes „populär“, d. h. durchaus verständlich geschrieben ist, verdient nicht nur von den engeren Fachgenossen, sondern von allen, die einen Einblick in die Anfänge der menschlichen Kultur zu gewinnen wünschen, mit Aufmerksamkeit gelesen zu werden.

O. Abel, Wien.

Häberlin, Paul, Der Gegenstand der Psychologie. Eine Einführung in das Wesen der empirischen Wissenschaft. Berlin, Julius Springer, 1921. VI, 174 S. Preis M. 60,—.

*Kant* hat in der Einleitung zur Kritik der reinen Vernunft gesagt, es sei „ein gewöhnliches Schicksal der menschlichen Vernunft...“, „ihr Gebäude so früh wie möglich fertig zu machen und hintennach allererst zu untersuchen, ob auch der Grund dazu gut gelegt sei“. Diese Erscheinung offenbart sich von Zeit zu Zeit in der Entwicklung nahezu aller Wissenschaften. Besonders deutlich tritt sie gegenwärtig u. a. in der Psychologie auf, die nach dem raschen Aufbau seit der Zeit *Fechners*, *Helmholtz* und *Wundts* sich nunmehr



wieder mehr und mehr bewußt der Frage nach ihren methodischen Grundlagen zuwendet. Kennzeichnend für dieses Bestreben in unserer Zeit ist das vorliegende Werk *Häberlins*, der in der „beschämenden Unsicherheit“ über die Fundamente der psychologischen Forschung die *Not* der Psychologie der Gegenwart am deutlichsten verkörpert sieht. „Solange wir in den Prinzipienfragen nicht klar sehen, so lange haben wir keine wissenschaftliche Psychologie, trotz aller fleißigen Arbeit und allen mehr oder weniger brauchbaren Resultaten. Die Prinzipienfragen aber konzentrieren sich in der Frage nach dem *Gegenstand* und damit zugleich nach der Aufgabe der Psychologie, nach dem, was wir als Psychologen *sollen*.“

Somit stellt die Arbeit *Häberlins* genau genommen keinen Beitrag zur Psychologie selbst, als vielmehr einen neuen Versuch zur Grundlegung einer Erkenntnistheorie und Logik der Psychologie dar. Der Grundlegung soll dann der Aufbau der Psychologie auf den hier gewonnenen Prinzipien in weiteren Bänden folgen.

Es seien nunmehr einige Leitgedanken des *Häberlinschen* Buches in möglichst engem Anschluß an die sprachliche Formulierung, die der Verfasser selbst gewählt hat, hervorgehoben. Ausgehend von einer freilich nur kurz umrissenen Theorie der Wissenschaft überhaupt, in der scharfsinnig zwischen dem Material der Wissenschaft als dem *Gegebenen* und dem Gegenstand der Wissenschaft als dem zur Erkenntnis *Aufgegebenen* geschieden wird, wendet sich der Verfasser den Prinzipien der empirischen Wissenschaft zu. *Material* der empirischen Wissenschaft ist die Gesamtheit der empirischen Tatsachen oder die Gesamtheit des Wahrnehmungswirklichen. *Gegenstand* der empirischen Wissenschaft ist der universal-eindeutige Zusammenhang der empirischen Tatsachen, der sich aus dem einzelnen Wirklichen der Wahrnehmung ergibt, oder die Totalität der *wahren* empirischen Tatsachen, Totalität freilich nicht im Sinne einer Summe, sondern eines universalen Zusammenhangs. Wenn es nun eine empirische Psychologie als Wissenschaft überhaupt gibt, so muß sie nach ihren Prinzipien und ihrem Gegenstand in der empirischen Wissenschaft eingeschlossen sein. Das aber ist auf zwei Arten denkbar. Entweder so, daß Psychologie identisch ist mit empirischer Wissenschaft, oder so, daß sie eine empirische Sonderwissenschaft darstellt. Wäre die Psychologie eine besondere empirische Wissenschaft — und zwar die Wissenschaft vom „Psychischen“ (zum Unterschied von dem, was nicht psychisch ist) —, so müßte das Psychische lediglich einen Teil oder einen begrenzten Ausschnitt aus dem Wahrnehmungswirklichen bilden; das übrigbleibende Wahrnehmungswirkliche wäre dann das Material der anderen empirischen Sonderwissenschaften. Das führt den Verfasser auf eine Untersuchung des Begriffes des Psychischen, deren Ergebnis besagt: Alle Inhalte unmittelbarer Selbstwahrnehmung sind, indem sie schlechthin als wirklich gedacht sind, psychischer Art. Psychisch ist die adjektivische Bezeichnung für die Ichform und also den Wirklichkeitscharakter überhaupt eines empirisch Gegebenen. Alles, was unmittelbar als wirklich gesetzt ist, ist psychisch, unbeschadet natürlich der spezifischen Eigentümlichkeiten jedes einzelnen Inhalts. Da nun auch alles Fremdwirkliche, eben als Wirkliches, die Ichform trägt — anders kann es ja gar nicht als wirklich gesetzt, d. h. wahrgenommen sein —, so ist auch alles Fremdwirkliche psychisch, insofern es wirklich ist. Das fremde Psychische zeichnet sich nun freilich gegenüber dem Eigenwirklichen noch durch die *Fremdform* aus, die sich über die

Form wirklich (= psychisch) lagert; wir bezeichnen diese Fremdform als physisch oder körperlich. Demnach trägt jedes Fremdwirkliche Doppelcharakter: es ist als Wirkliches psychisch, als Fremdes physisch, seinem zweiseitigen Wesen nach mithin psychophysischer Natur. Prinzipiell wichtig aber ist daran zunächst nur dies: Auch alles Physische (Fremde, Nicht-Ich) ist als Wirkliches psychisch, trägt mithin den Wirklichkeitscharakter der Ichform. Diese an *Fichte* gemahnende erkenntnistheoretische Deutung des Subjekt-Objekt-Ding-an-sich-Verhältnisses (Setzung des Nicht-Ich im Ich) gibt nun dem Verfasser die Möglichkeit, konsequent zu dem Ergebnis zu gelangen: Es gibt keine Psychologie als empirische Sonderwissenschaft; Psychologie ist vielmehr identisch mit empirischer Wissenschaft überhaupt, und die Idee der Psychologie deckt sich mit der Idee der empirischen Wissenschaft! Bleibt die Frage offen, wie dann das Verhältnis der Naturwissenschaft zur Psychologie in diesem universalen Sinn gedacht werden müsse, von den Kulturwissenschaften ganz zu schweigen. *Häberlin* antwortet: Naturwissenschaft ist da gegeben, wo der Forscher bei dem Psychophysischen (Fremdwirklichen) von der Bestimmtheit des psychischen Gehalts abstrahiert; es bleibt dann nur noch unbestimmt Psychisches (Ding) in seiner physischen Form übrig; das ist das Material der Naturwissenschaft. Naturwissenschaft hat es also immer mit einem Material zu tun, das als physisch sich darstellende, unbestimmt-psychische Größe gedacht ist. Die Psychologie bleibt als Idee der einzig möglichen empirischen Wissenschaft immer das wissenschaftlich Leitende. Im selben Maße, wie unser Deutungs- oder Verstehensvermögen etwa sich ausdehnen oder verschärfen würde, müßte auch die Bedeutung der Naturwissenschaft sinken, weil damit die Durchführbarkeit der Psychologie stiege. Naturwissenschaft „lebt“ nur von der Schwäche der Psychologie, d. h. von der Schwäche unseres Verständnisses (vgl. dazu S. 143, 145). Wie alles Physische als Wirkliches psychisch, so ist nach *Häberlin* auch die sogenannte Naturkausalität nur unverstandene psychische Kausalität; denn psychische Kausalität ist die Kausalität überhaupt.

Man wird zugeben, daß die Ergebnisse, zu denen *Häberlin* den Leser führt, immerhin auch den an erkenntnistheoretische Deutungen Gewöhnten befremden. Aber man muß dem Verfasser zugestehen, daß er auf dem Boden der begrifflichen Voraussetzungen, von denen er ausgeht, mit unverkennbar strenger Konsequenz weiter gedacht hat. Es wäre ein Leichtes, die Grundlagen des Buches von einem außerhalb seiner selbst genommenen Standpunkte — etwa unter Zugrundelegung von *Bechers* ausgezeichnetem Werke: „Geisteswissenschaften und Naturwissenschaften“ (München 1921) — kritisch abzuweisen. Daß alles Psychische wirklich ist, dürfte kaum bestritten werden. Ist aber darum alles Wirkliche auch psychisch? — Ist denn tatsächlich alles „Fremdwirkliche“ als solches psychischer Natur, oder ist nicht vielleicht das Psychische, in dem sich *Fremdwirkliches* darstellt, nur ein Medium, durch das das Ich überhaupt Realitäten erfährt, die nicht „Ich“ sind, d. h. nicht zur Ich-Welt gehören? — Es ist keine Frage, die Entscheidung des einzelnen über diesen Gegenstand wurzelt zuletzt in individuell-persönlichen Faktoren und ist objektiven Kriterien mehr oder weniger entzogen. Aber man muß die Sache doch wohl tiefer anfassen, als *Häberlin* es getan hat, wenn das auch zu einer Aufrollung jenes ganzen erkenntnistheoretisch-metaphysischen Kernproblems führt, das man als das Problem der *Realität* be-



zeichnet, und das in *Kölpes* Realisierung (bisher 2 Bände erschienen, der zweite aus dem Nachlaß) gegenwärtig wohl die umfassendste Darstellung gefunden hat. — Ob sich das Fundament, das *Hüberlin* der Psychologie zu geben gesucht hat, praktisch als fruchtbar erweisen wird, muß die weitere Ausführung des hier begonnenen Unternehmens erweisen. Man darf darauf gespannt sein; insbesondere dürfte das Interesse daran hängen, ob und in welcher Weise *Hüberlin* die von ihm nur schwankend bezeichneten Grenzen zwischen Psychologie und Naturwissenschaft genauer zu umreißen weiß. Man sollte ja erwarten, daß, wenn alles Fremdwirkliche *psychischer* Natur ist, die naturwissenschaftlichen Gesetze nun auch als *psychologische* Gesetzmäßigkeiten aufgefaßt werden können.

Kurt Joachim Grau, Berlin.

## Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

**Neues zum Artbegriff der Paläontologen.** Wenn die Zoologie sich jetzt auf chemischem Wege zu einem feststehenden Artbegriff durchsucht, so hat sich die Paläontologie zur vorhergehenden Stufe aufgeschwungen: der statistischen Seite der Vererbungswissenschaft. Auch die Paläontologen können sich nicht mehr zufrieden geben mit einem Artbegriff, der geschaffen wurde für etwas, das durch ihre ganze Wissenschaft widerlegt wird, nämlich „die natürlichen und unveränderlichen Einheiten des Tier- und Pflanzenreiches“ (*Linne*). Tatsache ist doch, daß in der Natur alles variiert, daß keine Form einer anderen ganz gleicht, daß eine in die andere übergehen kann, mindestens aber in ihren Nachkommen eine ganze Reihe ihr selbst nicht gleichender Formen hervorbringt, daß man also aus der Morphologie allein keine Art umgrenzen kann. Und wir brauchen solche Grenzen, brauchen den Begriff „Art“ für das System, ohne das keine Verständigung möglich ist. Die Paläontologie hat aber nur morphologische Tatsachen und mußte daher in der Zoologie nach Gesetzen suchen, die aus der Physiologie geboren sind und auf Morphologisches anwendbar; sie fand sie in der Variationsstatistik, deren Grundlage die Vererbungswissenschaft ist.

*Richter* wandte sie als erster „Zur stratigraphischen Bedeutung von *Calceola*“<sup>1)</sup> an; gleichzeitig erschienen *Wedekinds* „Grundlagen und Methoden der Biostratigraphie“<sup>2)</sup>, die zwar ebenfalls vom Standpunkt des Stratigraphen geschrieben sind, aber so nachdrücklich darauf hinweisen, daß in der Variationsstatistik ein Weg zum paläontologischen Artbegriff liegt, daß von diesem Buch die Anregung zu zwei neuerdings erschienenen größeren Arbeiten der Paläontologen ausging: *Serge von Bubnoffs* „Ladinische Fauna von Forno (Mezzovalle) bei Predazzo“<sup>3)</sup> — deren prinzipiell neue Ergebnisse ein Artikel in der Zeitschrift für induktive Abstammungs- und Vererbungslehre schon 1919 vorausbrachte — und *Hans Klähns* „Der Wert der Variationsstatistik für die Paläontologie“<sup>4)</sup>.

Die Schwierigkeiten einer objektiv begründbaren paläontologischen Systematik sind ungeheuer; es liegt das zunächst am schlecht erhaltenen toten Material, an den Veränderungen der Tierwelt in der (vertikalen) Zeit, dann aber auch in der (horizontalen) Variabilität, die ja auch dem Zoologen Schwierigkeiten macht. Erhält aber dieser eine unsymmetrische Variationskurve, wo er bei augenscheinlicher Einheitlichkeit die von *Quetelet* erwiesene symmetrische Anordnung der Varianten erwarten sollte, so sagt ihm ein Kreuzungsexperiment mit einiger Sicherheit, ob doch eine Einheit vorliegt; aber der Paläontologe muß ganz subjektiv entscheiden, ob eine abweichende Eigenschaft nicht nur eine Rasse oder Modifikation bezeichnet, und ob die Paläontologie solch kleine Einheiten nicht lieber ganz wegläßt. Geeigneter wäre also eine Statistik, die mehrere Merkmale erfaßt. Das tut die Statistik der *korrelativen* Variabilität und aus ihr nimmt *Klähn* seine Arbeitsweise, mit ihr kommt *Bubnoff* zu seinen hauptsächlichlichen Ergebnissen.

*Bubnoff* kommt aus dem Material heraus dazu. Langer Kriegsaufenthalt in Heidelberg zeitigte eine jener dicken Monographien, die zu verfassen heutzutage kaum einer Zeit findet, ja kaum sie zu lesen; Spezialbeschreibungen einer ladinischen Fauna werden aber hier durch Methoden, Schreibweise, Ausblicke nach allen Seiten auch für den Nichtspezialisten lesenswert. Die Cephalopoden bieten durch ihre hohe Individuenzahl ein gutes Objekt zu Untersuchungen über Variabilität, Korrelation und Systematik, deren Ergebnisse ein besonderer Teil bringt.

Da das Buch für Stratigraphen und Paläontologen geschrieben ist, muß dieser „Anhang“ erst eine kleine Einführung in die Variationslehre geben; Hinweise auf das vorher mitgeteilte Forno-Material machen sie unmittelbar interessant, mögliche Beschränkung auf das wirklich zum Verständnis des Folgenden Nötige verkürzt angenehm, der nicht abreißende Faden logischer Entwicklung macht diesen Exkurs zum Genuß.

Vom Genotypus, den Konstanten der reinen Linien, wird den Paläontologen endlich klar gesagt: „Wir haben gar keine Möglichkeit, in dem toten Material Genotypen zu unterscheiden und sind stets nur auf die rein statistischen Phänotypen angewiesen.“ Nur „Varianten“ sind unser Material, individuelle Abweicher innerhalb eines Phänotypus. Eine Anomalie der *Queteletkurve* ist eine Variante, belanglos für Speziestrennung, wenn ihr nicht „eine Veränderung einer anderen Eigenschaft gesetzmäßig verbunden ist, wenn einer Kurvenanomalie eine entsprechende einer anderen Eigenschaft zur Seite steht: wenn, um es kurz zu sagen, Korrelation verschiedener Eigenschaften besteht: dann können wir sichere Trennungskriterien aufstellen.“

Zur Darlegung der Korrelation hat *Galton* graphische Methoden, *Bravais* Tabellen und die komplizierte *K-Formel* aufgestellt. Die unendlichen, mühseligen Berechnungen werden dem Leser der *Bubnoffschen* Arbeit erspart, ... 478 Stücke wurden gemessen und ergaben  $K = +0,46$ , unterbricht den Gedankengang nicht. In solchen Mengen also wurden *Dinariten* untersucht. Querschnitt, Rippen, Involution sind lauter Merkmale mit recht erheblicher Variationsmöglichkeit und symmetrischen Einzelkurven: aber alle Merkmale variieren ziemlich unabhängig voneinander: — sie korrelieren nicht, es sei denn mit der Zuwachsgeschwindigkeit, einer nicht in Rechnung gesetzten Größe. Daß aber bei so kontinuierlicher Variabilität aller Eigenschaften (in die auch *Mojsisovics*

<sup>1)</sup> N. Jahrb. f. Min. 1916, II.

<sup>2)</sup> Verlag Borntraeger, Berlin 1916.

<sup>3)</sup> Verhdlg. d. Naturhist.-med. Vereins zu Heidelberg N. F. XIV, 2, 3, 1921.

<sup>4)</sup> Ber. d. Naturf. Ges. zu Freiburg XXII, 2, 1920.

Din. „Doelteri“ fällt) eine Einheit „Dinarites avisianus“ vorliegt, ist auch ohne Korrelation einleuchtend.

Beim Vergleich mit „nahe verwandten Arten“ ist nun aber interessant, „daß die durchgehend abweichenden Verhältnisse der Aufrollung eine durchgehend abweichende Skulptur zur Folge haben“. Niedere Umgänge und starke Evolution verbindet Dinarites Laczkoi mit spärlichen, kräftigen Rippen; dagegen hat Dinarites Eduardi, das andere Extrem, starke Involution mit gedrängter Berippung; Involution und Hochmündigkeit gehen im allgemeinen zusammen; die gedrängte Berippung ist daher eine mechanisch als Versteifung sehr einleuchtende Korrelation. Es besteht also gesetzmäßige Korrelation zwischen Aufbau der Schale und Skulptur; „aber innerhalb einer Art“ (z. B. Din. avisianus), „bei ihren einzelnen Individuen, ist diese Korrelation nicht streng verwirklicht, vielmehr ist hier der individuellen Variabilität ein weiter Spielraum gegeben“. Als Ergebnis kristallisiert sich: „Keine Korrelation innerhalb einer Art, gesetzmäßige Korrelation innerhalb einer Artengruppe mit gleichem Bauplan.“

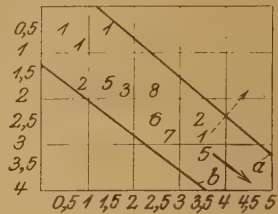
Läßt sich damit *praktisch* etwas anfangen? mit dieser Tatsache und einigen unbenannten Fossilien, die man einordnen will? — Ich glaube nicht! Die Untersuchungen selbst gingen von vorher als „avisianus“ „Doelteri“ bezeichneten Dinariten aus; der subjektive Entscheid hat sie geordnet; die Korrelation wurde herechnet, sie war im engen Kreis gering, darüber hinaus groß. Dazwischen liegt die Artgrenze; wo? — doch wohl, wo es eben deutlich wird, daß „durchgehend abweichende Verhältnisse“ (mit hohem K) vorliegen — also in dem Fall, von dem Bubnoff für größere als die behandelten Gruppen meint „Was prinzipiell verschieden ist, wird auch keiner umständlichen Trennungsmethode bedürfen“. Wie groß muß denn aber der Korrelationskoeffizient gerade sein, um eine Artgrenze festzulegen . . . ?

Darin ist Klähn genauer; sein Buch, an Seitenzahl fast  $\frac{2}{3}$  so stark wie „Die ladinische Fauna“, beschränkt sich in Gehalt und Ergebnissen auf einen differentialen Bruchteil. Das abstrakte Problem, das wir hier als einen Teil der Bubnoffschen Arbeit anführten, war Klähn (und ist auch) Anregung genug. Seine speziellen Resultate behandelt er nebensächlich.

Ihn drängt die Mangelhaftigkeit subjektiver Artumgrenzung: „Das Ziel muß sein, Zusammengehöriges auf Grund der variationsstatistischen Methode zu einem „Etwas“ . . . zusammenzuschweißen und dann dieses „Etwas“ von anderen „Etwas“ mit Hilfe exakter Methoden zu trennen.“

Der „Allgemeine Teil“ ist wieder eine Variationslehre für unvorbereitete Paläontologen, sehr breit, wie der Gesamttitel („Der Wert der Variationsstatistik für die Paläontologie“) erwarten läßt; durch Anordnung (Wiederholungen!) und Irrtümer (m. E. ist es nicht irreführend, den Galtonschen Kugelversuch mit der Queteletkurve zu vergleichen!) nicht sehr erquicklich. In der Korrelationslehre sieht sich dafür alles sehr einfach an, da selbst das Formelhafte und Tabellarische anschaulich, d. h. graphisch gesehen ist. Die komplizierte Bravaisformel wird ausgeschaltet, und da „die graphische Methode nur in besonderen Fällen wirklichen Wert hat“, die tabellarische Wiedergabe der Korrelation angewandt. Wie aber die Einteilung in Kolonnen und Kästchen schließlich nichts anderes ist als ein Koordinatensystem, so werden die (neuartig auf relativ einfache Weise) errechneten Korrelationskoeffizienten, Korrelationsteilkoeffizienten = Klassen-

koeffizient = Klassenteilkoeffizient und Korrelationsindizes auch von Klähn als Linien und Punkte in der Tabelle verdeutlicht.



In diesen Tabellen werden wagerecht die Maßzahlen der einen Eigenschaft, senkrecht die der anderen zu größeren Klassen zusammengefaßt, die Indizes entsprechend, mit ihrer Vorkommenszahl, eingetragen. Daraus ergibt sich anschaulich der Gegensatz „Wachstumskorrelation“, „Übergangskorrelation“. Wo nämlich mit Zunehmen der einen Eigenschaft beim Wachstum auch die andere zunimmt, werden sich die eingetragenen Zahlen in einem Streifen anordnen, der von links oben nach rechts unten zieht, etwa wie ihn die Linien a und b einfassen: der deutliche Ausdruck einer Wachstumskorrelation. Wo aber diese Korrelation für mehrere Eigenschaften geradelinig nachgewiesen ist, heißt es: „Die Zusammengehörigkeit aller Exemplare steht außer Zweifel“.

Diese Behauptung hat jedenfalls mehr Berechtigung, als wenn sie auf Variationskurven beruhte; allgemein brauchbar ist sie aber auch nicht. — Bubnoff hielt wohl die Wachstumskorrelation für zu selbstverständlich, als daß er sie verwendet hätte; daß sie es aber nicht ist, scheint mir die Zoologie überall zu zeigen<sup>5)</sup>. Eine solche Korrelation kann ja gar nicht von allen Eigenschaften erwartet werden, ja daß sie bei Ammoniten oft nicht besteht, haben wir bei Bubnoff gesehen. Will man aber mit Klähn an das spezies-spezifische solcher Korrelationen glauben, so ergibt sich in den Begrenzungslinien der „Korrelationsbreite“ (a und b) tatsächliche Artbegrenzung. Man hat also (nur!) für jede „Art“ alle Korrelationstabellen aufzustellen, und findet man dann ein neues unbekanntes, ähnlich scheinendes Stück, das in diese feststehende „Stammuntersuchungstabelle“ hineinpaßt: — so gehört das zu der Art.

Bringt man aber, zum Beispiel, in die Korrelationstabellen von *Rhynchonella varians* eine Population von *Rhynchonella badensis*, so zeigt die Tabelle Breite: Sinushöhe ein allmähliches Herausfallen der badensis-Zahlen aus der Korrelationsbreite von varians, und zwar nach rechts oben. Das bedeutet also (was Klähn übrigens nie erläutert, und wenn er zwanzig Seiten mit Zahlen gefüllt hat!), daß bei Zunahme der Breite die Sinushöhe von badensis nicht ebenso schnell zunimmt wie bei varians; die Wachstumskorrelation ist nicht so vollkommen — wobei bemerkt sei, daß bei solchen Vergleichen die sonst ganz nebensächlichen Berechnungen brauchbar sind. Im ganzen ist aber das gerade das Bestechendste an der Klähnschen Methode, daß auch in diesem Fall einfach abzulesen ist: Die als varians bezeichneten Formen haben Wachstumskorrelation (welche ich durch den Pfeil verdeutlichen möchte), die badensis aber stehen dazu in Übergangskorrelation (deren Richtung der gestrichelte Pfeil zeigt). Und gerade dies Ineinanderübergehen,

<sup>5)</sup> Z. B. neuerdings Klatt, B. Mendelismus, Domestikation und Kraniologie, Arch. f. Anthropol. N. F. XVIII, 3, 4, 1921.



das dem Systematiker solche Schwierigkeiten macht, wird hier systematisiert: Je nachdem, wie weit sich die Korrelationsbreiten decken, vereinigt Klähn oder trennt Varietät oder Art ab, wie ein Schlußwort genau festlegt.

Einen großen Nachteil haben die Klähnsche Methode und die Bubnoffsche gemeinsam, der vom Ausgangsstandpunkt aus ihrer Bedeutung ein gut Stück Abbruch tut: sie existieren nur für Material, das schon subjektiv zu der oder jener Art gestellt ist. Ein Haufen Material ist nötig (*Klähn* hatte entschieden zu wenig), das man nach subjektivem Gutdünken zusammenstellt, um dann mit einer dieser Methoden zu objektivieren, ob man „recht“ hatte. (Aber selbst dies objektiv ist relativ!). Dann aber hat man mit *Bubnoff* einer Idee rechnerischen Boden gegeben (keine Korrelation innerhalb der Art, Übergangskorrelation ausgesprochener), mit *Klähn* aber kann man sich jederzeit durch bloßen Augenschein überzeugen, ob dies oder jenes ähnlich scheinende Tier mit dazu gehört. Wirklich praktischen Wert hat aber auch diese Methode erst, wenn alle Tiere so durchgearbeitet sind — und wenn dazu auch keine Geisteskraft, sondern nur viel Material und viel Arbeitskraft gehören, so scheint es doch ein nicht so bald durchführbares Unternehmen; führt doch die fleißige Arbeit *Klähns* selbst die Sache für längst nicht alle Arten von vier Gattungen durch (*Rhynchonella*, *Misolia*, *Helix*, *Lio-ceras* bzw. *Ludwigia*; zurzeit wird versucht, die Arbeitsweise auf Wirbeltiere zu übertragen). Und ob man dann überall damit durchgedrungen ist und überall damit sichergeht, — ob man endlich einen alle Paläontologen zufriedenstellenden „Artbegriff“ hat, diese Frage möchte man schon jetzt mit Nein beantworten. Sogar für die Zoologie mit gilt ja heute noch *Klähns* einleitender Satz:

„Die Speziesfrage ist noch nicht gelöst.“

Diese Tatsache müßte alle Naturwissenschaften in Atem halten und immer mehr solcher Schritte zum unendlich fernen Ziel hervorbringen, wie sie in den erwähnten beiden die Paläontologie letztes Jahr gezeitigt hat.

*Tilly Edinger.*

Über den Gasgehalt des Wassers im Hemmeldorfer See bei Lübeck hat *R. Griesel* sehr bemerkenswerte Untersuchungen ausgeführt (*R. Griesel*, Physikalische und chemische Eigenschaften des Hemmeldorfer Sees bei Lübeck. Mitteil. der Geogr. Ges. und d. Naturhistorischen Museums in Lübeck. II. Reihe, Heft 28, Lübeck 1921, auch Dissertation Rostock). Der Hemmeldorfer See, der zwischen Bad Schwartau bei Lübeck und der Ostsee gelegen ist, weist in seinem nördlichen Teile nur geringe Tiefen bis wenig über 4 m auf, der kleinere südliche Teil ist tief eingesenkt. Die beiden tiefsten Stellen sind 44,5 und 40 m tief, sie sind durch eine nur 30 m tiefe Schwelle getrennt. Der Boden des Sees ist die stärkste Kryptodepression, die bislang auf deutschem Boden bekannt ist (vgl. hierüber auch *W. Halbsaß*, Der Hemmeldorfer See bei Lübeck, Mitt. d. Geogr. Ges. usw. Lübeck. II. Reihe, Heft 24, Lübeck 1910). Da schon durch die ersten Untersuchungen von *Halbsaß* ein starker Schwefelwasserstoffgeruch des Tiefenwassers festgestellt war, war es von erheblichem Interesse, die chemischen Verhältnisse des Sees eingehender zu untersuchen. Die in den Jahren 1914 und 1919/1920 ausgeführten Arbeiten von *R. Griesel* haben ergeben, daß unter einer nur den geringen Salzgehalt von etwa 0,2 ‰ aufweisenden Wasserschicht von etwa 33 m Tiefe ab schweres Wasser mit über 10 ‰ Salzgehalt

lagert und dieses enthält keinen Sauerstoff, sondern in hohem Maße Schwefelwasserstoff! Beide Wasserarten lagern außerordentlich scharf voneinander getrennt übereinander. Genauere Untersuchungen zeigten, daß im Sommer 1914 die Grenzschicht sowohl im nördlichen wie im südlichen Teil der Depression in gleicher Tiefe lag, und zwar zwischen 32 und 33 m, obgleich beide Tiefen durch die zwischen ihnen liegende Schwelle völlig voneinander getrennt sind. Eine Änderung in der Lage der Grenzschicht und auch in der Zusammensetzung des Tiefenwassers trat von Frühjahr bis Ende 1914 nicht ein. Dagegen zeigte sich bei Neuaufnahme der Untersuchungen nach Beendigung des Krieges, daß die Grenzschicht sich im Frühjahr 1919 3 m tiefer befand als 5 Jahre vorher. Unter Annahme, daß die Verlagerung der Grenzschicht stetig vor sich gegangen ist, mußte man mit einem Absinken des stark salzhaltigen Wassers um 60 cm im Jahre rechnen. Es entstand nun die Aufgabe, die Tieferlegung der Grenzschicht im Laufe eines Jahres nachzuweisen. Da mit einem Wasserschöpfer das Wasser nicht zuverlässig aus so wenig verschiedenen Niveaus wie hier erforderlich heraufzubekommen ist, wurde der Salzgehalt in der Tiefe durch elektrische Widerstandsmessung festgestellt. Diese Messung wurde so ausgeführt, daß zwei Platinbleche in 30 mm Abstand in die gewünschte Tiefe gebracht wurden und nun der Widerstand im Boot mit Hilfe der Kohlrauschschen Brücke gemessen wurde. Diese Bleche konnten sehr genau in die Tiefe gebracht werden, in welcher der Salzgehalt bestimmt werden sollte, bei ruhigem Wetter betrug der Fehler nur  $\pm 2$  cm. Die ausgeführten Messungen ergaben, daß im Jahre 1919 bis in den Oktober hinein die Grenzschicht unverändert zwischen 35,3 und 35,4 m Tiefe lag, im Dezember war sie um 20 cm hinabgedrückt und im April 1920 um insgesamt 45 cm. Die Ursache dafür ist darin zu sehen, daß im Winter infolge der starken Abkühlung des Wassers an der Oberfläche eine Vertikalzirkulation einsetzt, die bis auf die Grenzschicht hinabreicht; die oberste Schicht des salzigen Tiefenwassers vermischt sich mit dem zirkulierenden Wasser, so daß in jedem Winter die Menge des salzigen Tiefenwassers vermindert wird. Eine länger, dauernde Erhöhung des Salzgehaltes der oberflächlichen Wasserschicht ist damit nicht verbunden, da fortwährend Abfluß nach der Ostsee und Zufluß von Süßwasser aus der Umgebung stattfindet. Schreitet die Aussüßung des Sees in dem Maße fort wie von 1914 bis 1919, so müßte im Jahre 1934 das salzreiche Wasser in den tiefen Mulden des südlichen Teiles des Hemmeldorfer Sees ganz verschwunden sein.

Woher kommt nun das salzreiche Tiefenwasser? Da seine Menge ständig abnimmt, ist nicht anzunehmen, daß ein regelmäßiger Zufluß stattfindet, dagegen spricht auch, daß in beiden voneinander getrennten Mulden sich die Erniedrigung des Niveaus in gleichem Maße vollzieht. *Griesel* kommt zu der einleuchtenden Erklärung, daß durch die große Sturmflut im Jahre 1872, durch welche das ganze Gebiet des Hemmeldorfer Sees überschwemmt worden ist, Ostseewasser in den See gelangt ist und wegen seiner größeren Dichte das Süßwasser verdrängt hat. Die nach dem Aufhören der Überflutung einsetzende Aussüßung des Sees ist jetzt bis etwa 36 m Tiefe fortgeschritten. Etwa 1934 wird der Zustand wie vor der Überflutung wieder hergestellt sein, bis abermals eine neue große Sturmflut das Spiel von neuem beginnen läßt.

Die Folge der Abgeschlossenheit des Tiefenwassers

ist, daß sämtlicher gasförmiger Sauerstoff durch die Organismen und die Verwesungsvorgänge aufgezehrt ist und statt dessen sich das Wasser mit Schwefelwasserstoff angereichert hat. Das Tiefenwasser des Hemmelsdorfer Sees enthält mehr Schwefelwasserstoff als irgend ein anderes bisher bekanntgewordenes Schwefelwasserstoff enthaltendes Wasser der Erde. Dies zeigt die folgende Tabelle des näheren:

*Schwefelwasserstoffgehalt einiger natürlicher Wässer.*

| Ort                              | Schwefelwasserstoffgehalt<br>mg im Liter | Bemerkungen  |
|----------------------------------|--|--|
| HemmelsdorferSee                 | 30)                                      |  |
| Schwarzes Meer ..                | 9  | Tritt in 183 m zuerst auf und nimmt bis zum Grunde auf 9 mg/L. zu! |
| Mofjord(Norwegen)                | 1,4                                      | Am Grunde (200 m Tiefe).   |
| Bad Sebastiansweiler b. Tübingen | 115                                      | Stärkste Schwefelquelle Europas.                                   |
| Bad Neundorf ....                | 68                                       |  |
| Bad Langensalza ..               | 44                                       | Stärkstes Schwefelbad Mitteldeutschlands.                          |

Bruno Schulz.

**Ein internationales Meeresforschungsinstitut im Malayischen Archipel.** Von schwedischer und dänischer Seite sind erhebliche Geldmittel zusammengebracht worden, um eine internationale Meeresstation im Malayischen Archipel zu gründen. Man rechnet damit, daß auch Holland, in dessen Kolonialgebiet die zukünftige Station voraussichtlich liegen wird, sich an der Einrichtung beteiligen wird. Der geistige Leiter des ganzen Unternehmens ist Dr. Th. Mortensen vom Zoologischen Museum in Kopenhagen. Mortensen ist im November 1921 für die Dauer eines Jahres nach Holländisch-Indien abgereist, um einen für die beabsichtigten, offenbar vorwiegend zoologischen Arbeiten geeigneten Platz zu finden und wissenschaftliche Voruntersuchungen anzustellen. Mit der endgültigen Gründung des Institutes ist in 3—4 Jahren zu rechnen. (Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, Bd. X, Heft 1—2, Leipzig, Januar 1922.)

Bruno Schulz.

**Hydrographische und hydrobiologische Arbeiten in Rußland.** N. Decksbach (Moskau) berichtet in der Internationalen Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, Band X, Heft 1—2, Leipzig 1922, über die in den letzten Jahren in obengenannter Richtung ausgeführten Arbeiten. — Seit 1919 arbeitet auf dem Aralsee eine wissenschaftliche Expedition unter Leitung von Prof. Theodor Spitschakow zur Lösung rein wissenschaftlicher Fragen, aber auch praktischer, auf Hebung der darniederliegenden Fischerei gerichteter Aufgaben. Auch der Syr Darja und Amu Darja sowie die umgebenden Seen sind in den Untersuchungsbereich einbezogen. — Seit 1918 arbeitet das Zoologische Museum der Akademie der Wissenschaften zu Petersburg an einer systematischen Erforschung der über 2700 Seen des Gouvernements Olonez in hydrographischer und hydrobiologischer Hinsicht. — Im Sommer 1920 endlich war außerdem noch eine Expedition in das Petschorabecken entsandt mit im wesentlichen zoologischen Aufgaben.

Als Publikationsorgan ist vor kurzem eine neue hydrobiologische Zeitschrift — Bulletin de l'Institut Hydrologique de Russie, Petrograd — entstanden, von der Heft 1 mit einer größeren Zahl von Aufsätzen erschienen ist, so daß offenbar Rußland in wissenschaftlicher Beziehung nach den Ereignissen der letzten Jahre zu neuem Leben zu erwachen scheint.

Bruno Schulz.

**Ein neues geophysikalisches Institut.** An der Universität Paris ist durch Dekret vom 28. Juli 1921 ein Unterrichts- und Forschungsinstitut für Geophysik begründet worden, dem auch der meteorologische Dienst des Bureau central météorologique an der Universität einverleibt worden ist. Es soll hauptsächlich den Erdmagnetismus pflegen und das Observatorium des Parc Saint-Maur sowie die magnetische Station des Val-Joyeux zu seiner Verfügung haben. Das neue Institut wird zunächst im Gebäude des meteorologischen Landesdienstes untergebracht werden, um dessen Hilfsmittel, vor allem auch die reichhaltige Bibliothek benutzen zu können. Ein Zentralbureau für Seismologie soll außerdem in Straßburg geschaffen werden. (La Géographie, Paris 1921, T. 36, No. 3, S. 438.)

O. B.

**Plinius und seine Naturgeschichte<sup>1)</sup>.** Der historischer Vertiefung so vielfach abholde Geist der modernen Naturforschung liebt es, den Mann und das Werk verächtlich zu finden. Dem Manne tut man damit jedoch zweifellos Unrecht. „Du wunderst Dich“, so schreibt einmal der Neffe, der jüngere Plinius, über die Persönlichkeit und die Arbeitsweise seines Onkels, des Admirals Gaius Plinius Secundus, „Du wunderst Dich, daß mein Oheim so viele Bände über so schwierige Gegenstände geschrieben hat, während er doch immer mit anderen Geschäften überhäuft war. Vielleicht weißt Du nicht einmal, daß er auch als Anwalt Prozesse führte, die wichtigsten Ämter verwaltete und durch die Freundschaft mit den Kaisern vielfach in Anspruch genommen wurde. Was ihn auszeichnete, waren großer Scharfsinn und ein unglaublicher Fleiß. Er schlief nur wenig und aß auch nur wenig, und war nach der Sitte der Väter ganz einfach. Auch auf seinen Reisen studierte er unermüdet und hatte immer seinen Schreiber neben sich. Dieser mußte im Winter Handschuhe tragen, um stets flink schreiben zu können. Wenn mein Oheim Muße fand, ließ er sich vorlesen. Gleichzeitig machte er sich Auszüge und Anmerkungen. Ohne dies zu tun, las er nicht. Auch pflegte er zu sagen, kein Buch sei so

<sup>1)</sup> Plinius und seine Naturgeschichte in ihrer Bedeutung für die Gegenwart von Friedrich Dannemann. — Klassiker der Naturwissenschaft und Technik (Herausgegeben von Dr. Franz Strunz), verlegt bei Eugen Diederichs in Jena 1921. Broschiert 40 Mark, gebunden 50 Mark. — Der Zusatz „in ihrer Bedeutung für die Gegenwart“ will besagen, daß hier nur soviel aus dem umfangreichen Schrifttum des Plinius geboten wird als uns Heutige noch zu interessieren vermag. „Eine bessere Einführung in die gesamten Lebensverhältnisse und die naturwissenschaftlichen Kenntnisse des Altertums, wie sie uns Plinius bietet, findet sich nirgends wieder.“ Das Buch ist als Vorstufe zu Dannemanns vierbändigem Werke über die Naturwissenschaften in ihrer Entwicklung und in ihrem Zusammenhange gedacht und demgemäß mit einem einleitenden Abriss der Geschichte der antiken Naturanschauung versehen. Die Übersetzung ist von Dannemann selbst hergestellt und macht wie alles, was aus den Händen dieses bewährten Gelehrten und Pädagogen hervorgeht, den besten Eindruck. Das Deutsch liest sich vortrefflich.



minderwertig, daß es nicht etwas Nützliches enthalte.“ Das Nützliche zu suchen und sich der Zeit nützlich zu machen, das ist auch nach den Werken der Grundzug in der literarischen Erscheinung dieses *Kürschners* des Altertums. Und im Zusammenhange damit ergibt sich, daß *Plinius* sein Wissen weniger aus der Natur als vorzugsweise aus Büchern geschöpft hat, so daß *Mommsen* „*Die Naturgeschichte*“ recht als „*Studierlampenbuch*“ bezeichnen konnte. „20 000 Gegenstände, die etwa 2000 Werken entstammen, habe ich berücksichtigt“, sagt *Pl.* in der Widmung des Buches an *Titus*. „Dabei handelt es sich meist um Werke, die selbst Gelehrte der Schwierigkeit ihres Inhalts wegen kaum zur Hand nehmen. Hundert ausgewählte Schriftsteller lieferten mir den Stoff, den ich in 36 Büchern dargeboten habe. Außerdem wurde noch vieles hinzugefügt, was erst spätere Erfahrung gelehrt hat. Zweifelsohne ist mir indessen noch manches entgangen, denn ich bin durch die Pflichten meines Amtes sehr in Anspruch genommen und kann nur in den Stunden der Nacht diesen Gegenständen meine Aufmerksamkeit schenken. Leben heißt: Wache stehen. Und die Zeit, die man den Museen widmet, trägt in ganz besonderem Maße ihren Lohn in sich.“

Es war aber dieser Weg nicht etwa schon von anderen Schriftstellern betreten, sagt *Plinius* an einer anderen Stelle dieser Widmung. „Denn weder unter uns noch unter den Griechen ist einer, der dasselbe, nämlich das Ganze zu umfassen, versucht hat. Infolgedessen mußte ich alles in Betracht ziehen, was die Griechen unter der *Enzyklopädie der Wissenschaften* verstehen.“ Zu dieser Stelle urteilt der neueste Bearbeiter der „*Naturgeschichte*“, *Friedrich Dannemann*, wahrscheinlich mit Recht: „Nicht nur durch den Umstand, daß er selbst sein Werk als eine *Enzyklopädie* bezeichnet und daß man die begriffliche Wandlung, die dies Wort erfahren hat, oft kaum beachtete, sondern auch die gewissenhafte Aufzählung der benutzten Quellen hat *Plinius* in dem Urteil, das viele über ihn fällten, geschadet. Hätte er es nach Art der meisten übrigen Schriftsteller des Altertums und mancher neueren Datums weniger genau genommen, so würde man ihn vermutlich höher eingeschätzt und seinem Werke nicht so oft den Makel der geistlosen Kompilation angehängt haben.“ Trotzdem will uns das Wort der Anerkennung, das *A. von Humboldt* im 2. Bande des „*Kosmos*“ der „*Naturgeschichte*“ zollt, daß sie nämlich das großartige Unternehmen einer Weltbeschreibung sei, und es habe dem *Plinius* ein einheitliches großes Bild vorgeschwebt, etwas zu warm erscheinen, und es will uns vollkommen des Lobes und der Würdigung genug erscheinen, was der dem Römer geistesverwandte Lateiner *Buffon* bemerkt: „Seine *Naturgeschichte*“ umfaßt nicht nur die Tiere, die Pflanzen und die Mineralien, sondern auch die Erd- und Himmelskunde, die Medizin, die Entwicklung der Schiffahrt, des Handels und der Künste, kurz alle Wissenschaften. Erstaunlich ist, wie bewandert *Plinius* sich auf diesen Gebieten zeigt. Erhabenheit des Gedankens und Schönheit des Ausdrucks vereinigen sich bei ihm mit tiefer Gelehrsamkeit. Sein Werk ist zwar eine Zusammenfassung dessen, was vor ihm geschrieben war, jedoch ist diese Zusammenfassung an manchen Stellen so großzügig und stellt die Dinge oft in einem solch neuen Lichte dar, daß sie vor manchem Werke eigener Arbeit, das von denselben Dingen handelt, den Vorzug verdient.“ Im Grunde ist es der Mangel an philosophischer Durchdringung des Weltalls, die dem *Plinius* und seinem Zeitalter versagt geblieben ist, und darum die

Schwungkraft lähmte; es ist nur Wissen, was die Zeit gereift hatte, ist lediglich *Anhäufung* von Wissen, was bei *Plinius* zu finden ist: die Wissenschaft selbst entstand erst später.

Thilo Krumbach.

**Die zahnärztliche Versorgung des deutschen Volkes.** (*Julius Dresel*, Dtsch. zahnärztl. Wochenschr. Nr. 35, 27. Aug. 1921.) 4478 Zahnärzte übten Ende 1919 in Deutschland Praxis aus, ein Drittel davon in den 7 Großstädten über 500 000 Einwohner, in Orten über 100 000 Einwohner über die Hälfte der Gesamtzahl. Demgemäß sind kleine Orte und das flache Land im Verhältnis zur Einwohnerzahl wesentlich schlechter mit Zahnärzten versorgt. Verf. zieht auch die Zahn-techniker in seinen Statistiken in Betracht und faßt Zahnärzte und -techniker unter dem ebenso verfehlten wie unschönen Namen „Zahnbehandler“ zusammen. — 209 Zahnärzte praktizierten in Orten unter 5000 Einwohnern, während es 1909 erst 59 waren. Die Verhältnisse haben sich also für diese Orte beträchtlich gebessert. Vermutlich wird sich diese erfreuliche Tatsache in den nächsten Jahren noch weit günstiger gestalten, weil sich aus der großen Zahl der zurzeit Studierenden sicherlich viele kleineren Orten zuwenden werden. In Preußen steht die Provinz Brandenburg am günstigsten da mit 1 Zahnarzt auf 6840 Einwohner, am ungünstigsten Ostpreußen mit 1 Zahnarzt auf 23 600 Einwohner. Das günstigste Verhältnis unter den Bundesstaaten hat Baden mit 1 Zahnarzt auf 9830 Einwohner, das ungünstigste Altenburg mit 1 Zahnarzt auf 36 000 Einwohner.

An großen und kleinen Orten ist das Zahlenverhältnis von Zahnärzten zu Technikern ungefähr das gleiche, während die Techniker in mittleren Orten noch mehr die Überhand haben.

In Deutschland kommt 1 Zahnarzt auf 13 300 Einwohner, in England auf 7500, in Frankreich auf 10 000, in Spanien auf 20 000, in Holland auf 14 000, in der Schweiz auf 8200, in den Vereinigten Staaten auf 2200.

Im Gegensatz zu *Kantorowicz*, der 1 Zahnarzt auf 3000 Einwohner als notwendig erachtet, hält Verf. 1 Zahnarzt für 4500—5000 Einwohner für ausreichend, mithin für Deutschland eine Gesamtzahl von 12 bis 14 000 Zahnärzten. 1887 gab es in Deutschland 523 Zahnärzte, 1907 3058, 1919 4478. In den Jahren 1907 bis 1916 erlangten jährlich etwa 270 Zahnärzte ihre Approbation, W. S. 1920/21 studierten 5146 Zahnheilkunde. Die Aussichten auf genügende zahnärztliche Versorgung Deutschlands haben sich also deutlich gehoben.

Hebenstreit, Dresden.

(Aus der Monatsschrift für Zahnheilkunde.)

## Physikalisch-technische Mitteilungen.

**Die Fabrikation von optischem Glas.** (*C. J. Peddle*, Trans. opt. Soc. Vol. XXIII, 1921—1922, Nr. 2.) Nach einer historischen Einleitung und allgemeinen Betrachtungen über die Fabrikation von optischem Glas bringt der Verfasser eine Reihe von Versuchen, die über die Beziehungen der einzelnen Bestandteile des Glases zu einigen physikalischen Eigenschaften desselben Aufklärung verschaffen sollte. Für die Versuche diente als Ausgangsmaterial ein Glas von der molaren Zusammensetzung 100 Siliciumdioxid und 20 Natriumoxyd, zu dem die zu untersuchenden Oxyde in steigenden äquimolaren Mengen zugesetzt waren; oder ein Glas von 70 %  $\text{SiO}_2$  und 30 %  $\text{Na}_2\text{O}$ , in dem das  $\text{Na}_2\text{O}$  teilweise durch gleiche prozentuale Mengen der Oxyde ersetzt war.

## 1. Beziehung zum spez. Gewicht:

Das spez. Gewicht eines Glases, bestehend aus 100 Grammolekülen Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ) und 20 Molekülen Natriumoxyd ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) beträgt 2,35 und steigt bei Zusatz von Blei-, Barium-, Strontium-, Zink-, Calcium- oder Magnesiumoxyd. Die Zunahme des spez. Gewichtes ist um so größer, je höher das Molekulargewicht des zugesetzten Oxyds vom Typus RO, und ist praktisch der zugesetzten Menge proportional. Als Beispiel sei erwähnt, daß das spez. Gew. bei Zusatz von 10 Mol Calciumoxyd 2,46 und bei Zusatz von 10 Mol Bleioxyd 2,91 beträgt. Der Einfluß der zugesetzten Oxyde vom Typ RO macht sich in derselben Weise geltend, wenn das Ausgangsglas Kaliumoxyd statt Natriumoxyd enthält. Ein teilweiser oder gänzlicher Ersatz des Natriumoxyds durch Kaliumoxyd hat eine Verminderung des spez. Gewichts zur Folge. Ein teilweiser Ersatz der Kieselsäure durch ein Oxyd RO steigert das spez. Gewicht.

## 2. Beziehung zum Brechungsexponenten:

Der Brechungsexponent wächst sowohl mit steigendem Zusatz der Oxyde RO zum Glas mit dem unveränderten molaren Verhältnis von  $\text{SiO}_2$  und  $\text{Na}_2\text{O}$ , als auch durch den teilweisen prozentualen Ersatz des Natriumoxyds. Die Zunahme des  $n_D$  ist nicht mehr wie beim spez. Gewicht eine Funktion des molekularen Gewichts der zugesetzten Oxyde. So ist die Reihenfolge der Oxyde mit steigendem Einfluß auf das  $n_D$  bei äquimolekularen Zusätzen folgende, wobei die Zahlen in den Klammern die Molekulargewichte bedeuten: MgO (40), ZnO (81), CaO (56), SrO (104), BaO (153), PbO (223). Wird das Natriumoxyd stufenweise durch gleiche prozentuale Mengen der angeführten Oxyde ersetzt, so ist die Reihenfolge MgO (40), ZnO (81), BaO (153), PbO (223), SrO (104), CaO (56). Den größten Einfluß hat also Calciumoxyd. Der Einfluß der drei Oxyde CaO, SrO und BaO, die zu einer Gruppe des periodischen Systems gehören, nimmt mit steigendem Molekulargewicht ab.

3. Beziehung zur totalen Dispersion  $n_F - n_C$ :

Die totale Dispersion des Glases wächst mit steigendem Zusatz der genannten Oxyde bei unverändertem Molekularverhältnis von Kieselsäure und Natriumoxyd. Den größten Einfluß hat auch hier, wie beim  $n_D$ , ein Zusatz von Bleioxyd. Eine Beziehung zum Molekulargewicht ist auch hierbei nicht zu konstatieren, da ZnO (81) und SrO (104) fast den gleichen Einfluß ausüben. Wird das Natriumoxyd stufenweise durch gleiche prozentuale Mengen der Oxyde ersetzt, so sinkt die Dispersion für die Oxyde MgO, BaO und SrO, steigt dagegen für die anderen drei in der Reihenfolge ZnO, CaO, PbO. Bei gleichbleibendem Prozentgehalt an Natriumoxyd (20 %) und stufenweisem Ersatz der Kieselsäure durch die Oxyde nimmt der Brechungsexponent sowie die totale Dispersion zu, und zwar ist die Reihe der Oxyde im Sinne des wachsenden  $n_D$ : MgO, ZnO, BaO, SrO, PbO und CaO; die Reihe für die zunehmende totale Dispersion dagegen ist MgO, BaO, SrO, ZnO, CaO, PbO.

## 4. Beziehung zur Haltbarkeit:

Die Haltbarkeit ist in der Weise bestimmt worden, daß die verschiedenen Gläser während 100 Stunden der feuchten oder während 6 Monaten den gewöhnlichen atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt und die Gewichtsverluste der Gläser an Natriumoxyd bestimmt wurden. Ein Zusatz eines der Oxyde erhöht die Haltbarkeit. Geht man von dem Glase von der Zusammensetzung 100 Kieselsäure und 20 Natriumoxyd aus und setzt äquimolare Mengen der Oxyde RO zu, so steigt

die Haltbarkeit in der Reihenfolge ZnO, PbO, BaO, MgO, SrO, CaO. Geht man von einem Glas mit unverändertem Prozentgehalt an Natriumoxyd (20 %) aus und ersetzt die Kieselsäure durch gleiche Prozentmengen der Oxyde, so steigt die Haltbarkeit in der Reihenfolge ZnO, MgO, CaO, SrO, BaO, PbO. Gläser mit weniger als 20 % Alkali sind haltbarer, wenn das Alkali in gleichen Gewichtsteilen aus Natriumoxyd und Kaliumoxyd besteht, als diejenigen Gläser, die nur ein Alkali enthalten.

## 5. Beziehung zur Entglasung:

Gläser mit mehr als 15 % Calciumoxyd, 65 % Kieselsäure, Rest Alkali scheiden bei langsamer Abkühlung Calciumsilikatkristalle in Form von feinen Nadeln aus. Die Barytgläser neigen zur Entglasung erst bei einem Gehalt von über 25 % BaO, und die Bleigläser bei einem Gehalt weit über 50 % PbO.

Zu der geschichtlichen Einleitung hat mein Kollege Prof. von Rohr folgendes zu bemerken:

„Die geschichtliche Einleitung bietet nur die großen Züge, und es ist erfreulich, festzustellen, daß hier keinerlei wichtige Meinungsverschiedenheiten bestehen. Einige Schreibfehler in den Namen sind dem Berichterstatte aufgefallen, so *Dartiques*, *Fraunhofer*, *Abbé* statt *D'Artiges*, *Fraunhofer*, *Abbe*. P. L. Guinand, der von Beruf ein Kunstschleifer (kein Uhrmacher) gewesen sein soll, ist wohl 1824 und nicht 1823 gestorben. — Geschichtlich wichtig ist die Angabe, die alte Hütte von *Chance Bros.* habe 1916 die gesteigerten Anforderungen des Heeres und Flugdienstes nicht mehr erfüllen können, und im Juni 1916 habe das Haus *Wood Bros. Glass Co. Ltd.* mit der Glasherstellung in den *Derby Works* begonnen; sie stellten augenblicklich mehr als 100 verschiedene Glasarten her.“

M. Herschkowitsch.

**Über den Polymorphismus und die optische Kühlung des Glases.** (A. A. Lebedeff, Vorläufige Mitteilung, Transactions of the Optical Institute in Petrograd. Vol. II, Nr. 10.) Verfasser spricht den Satz aus, daß die Spannungen im Glase nur indirekt oder in sehr geringem Maße von der ungleichmäßigen Abkühlung herühren, daß vielmehr die eigentliche Ursache des Auftretens von Spannungen in der polymorphen Umwandlung des Glases zu suchen ist. Daß das Glas in der Tat eine Umwandlung erleidet, beweist der Verfasser durch folgende sehr interessante Versuche:

1. Ein gut gekühlter Glasblock (Borosilikatgeron russischen Ursprungs) von  $35 \times 75 \times 75$  mm wird in einem elektrisch geheizten Ofen bis ca.  $700^\circ$  erhitzt und in kurzen Intervallen werden sowohl die Temperaturdifferenzen  $\Delta t$  zwischen dem Inneren des Glases und seinen Außenschichten als auch die hierbei auftretende Doppelbrechung  $\phi$  gemessen und in einem Koordinatensystem aufgezeichnet. Auf der Abszisse sind die Temperaturen, auf der Ordinate die Werte für  $\Delta t$  bzw. die für  $\phi$  eingetragen. Beide Kurven zeigen einen ziemlich ähnlichen Verlauf, indem sie beide mit steigender Temperatur erst ansteigen entsprechend der geringen Wärmeleitung des Glases, dann gleichmäßig sinken bis etwa  $510^\circ$ . Von da ab steigt die Kurve der Doppelbrechung stark an, erreicht bei  $560^\circ$  ein Maximum und sinkt bei weiterem Erwärmen bis zu  $600^\circ$  rasch auf Null, während die  $\Delta t$ -Kurve kurz vor  $600^\circ$  noch einmal in einem kurzen Temperaturintervall stark ansteigt und wieder sinkt. Das Ansteigen der  $\Delta t$ -Kurve ist nur so zu verstehen, daß das Glas in der Nähe von etwa  $560^\circ$  eine von einer deutlichen Wärmeabsorption begleitete Änderung erleidet. Die stattfindende Wärmeabsorption im Glase hat zur Folge eine Steige-



nung der Spannung und somit auch des Wertes der  $\phi$ -Kurve.

2. Zwei Porzellanrohre von 15 mm Durchmesser und 60 mm Länge, das eine mit Glasmehl, das andere mit Porzellan- oder Quarzmehl beschickt, wurden im elektrischen Ofen langsam auf  $650^{\circ}$ – $700^{\circ}$  erhitzt und der Gang der Temperaturdifferenz der beiden Rohre registriert. Diese zeigte in der Nähe von  $580^{\circ}$  ein ausgesprochenes Minimum infolge der bei dieser Temperatur stattfindenden Wärmeabsorption in dem mit Glasmehl beschickten Rohre.

3. Der Brechungsexponent eines rechtwinkligen Primas wurde nach dem etwas modifizierten Prinzip des Pulfrichschen Refraktometers bei verschiedenen Temperaturen gemessen. Es zeigte sich, daß der Brechungsexponent ziemlich regelmäßig bis zu  $520^{\circ}$  ansteigt, und zwar um den Betrag von  $2 \times 10^{-3}$  und von da ab sehr stark abnimmt. So betrug die Abnahme zwischen  $540^{\circ}$  und  $595^{\circ}$  annähernd  $3 \times 10^{-3}$ .

4. Der Ausdehnungskoeffizient des Glases ändert sich nur wenig zwischen  $0^{\circ}$  und  $520^{\circ}$ , steigt von da ab plötzlich sehr stark an und erreicht ein Maximum bei  $570^{\circ}$ – $580^{\circ}$ . Die weitere Abnahme des Ausdehnungskoeffizienten mit steigender Temperatur ist, wie aus der Versuchsanordnung zu schließen, wahrscheinlich auf die beginnende Erweichung des Glases zurückzuführen.

Aus den angeführten Versuchen folgt, daß das Borosilikatcrown bei ca.  $540^{\circ}$  eine Umwandlung erleidet. Die vom Verfasser aufgestellte Hypothese, daß das Glas ein Gemenge von mikroskopischen Silikat- und Quarzkristallen z. T. in Form von Mischkristallen darstellt, ist durch die Versuche nicht hinreichend begründet. Es soll hier jedoch von einer kritischen Beleuchtung der vorliegenden Arbeit mit Rücksicht darauf, daß es sich nur um eine vorläufige Mitteilung handelt, abgesehen werden. M. Herschkowitsch.

**Prüfung von Metallgegenständen mit Hilfe von Röntgenlicht.** Das hohe Durchdringungsvermögen der „harten“ Röntgenröhren mit Wolframantikathoden hat es in den letzten Jahren bekanntlich ermöglicht, die Röntgenstrahlen zur Aufdeckung innerer Fehler in Metallgegenständen ohne deren Verletzung zu verwenden. Dieses Verfahren wird jetzt in allen Ländern weitgehend angewandt, wie sich z. B. aus einem Bericht im *Génie Civil* vom 15. 10. 21 S. 321 ergibt, dem die folgenden, zum Teil nicht neuen Einzelheiten entnommen sind. Über das Verfahren ist in den Fachzeitschriften seinerzeit berichtet worden, so daß hier nur kurz das Wesentliche angedeutet werden soll. Das Verfahren beruht auf der Schattenwirkung der Metallgegenstände auf eine photographische Platte. Einschlüsse und Hohlräume markieren sich infolge ihres abweichenden Absorptionsvermögens. Die Technik des Verfahrens ist äußerst einfach. Man braucht möglichst hartes und intensives Röntgenlicht, das durch den untersuchten Gegenstand auf die photographische Schicht dringt. Man wendet alle erdenklichen Hilfsmittel an, um die Schwärzungseffekte zu verstärken, indem man photographische Filme verwendet, die auf beiden Seiten eine empfindliche Schicht haben, indem mehrere solche Filme eventuell mit zwischengelegten durchsichtigen Verstärkungsschirmen, übereinander und auf einen reflektierenden Silberspiegel gelegt werden usw. Zur Vermeidung der Schwärzung durch sekundäre Strahlung ist die photographische Schicht sorgfältigst nach allen Richtungen durch starke Bleiplatten abzudichten.

Um einen Begriff von der Leistungsfähigkeit des

Verfahrens zu geben, sei erwähnt, daß man in Stahlplatten von 45 mm Stärke Löcher von 1 mm Durchmesser, oder in Stahl von 50 mm Dicke eine Zinnschicht von 0,1 mm Stärke noch deutlich wahrnehmen kann. Masing.

#### Das Schweißen von Eisen mit Hilfe von Kupfer.

Die Verbindung von Metallstücken durch Verschweißen führt zu einer außerordentlich starken lokalen Erhitzung des Materials, die einerseits die Entstehung von Oxydhäuten in der Schweißnaht begünstigt und dadurch die mechanischen Eigenschaften derselben herabsetzt, und andererseits sehr leicht bleibende Deformationen der Stücke herbeiführt. — Das Löten vermeidet zwar diese Nachteile, erzeugt aber eine Zwischenschicht von einer anderen Zusammensetzung und anderen mechanischen Eigenschaften, als das durch dasselbe verbundene Material, und bringt dadurch Nachteile mit sich, besonders, wenn das Zusammenhaften des Lotes mit dem Material Schwierigkeiten macht.

Nach dem Verfahren von *Hyde* zum Schweißen von Eisen und Stahl werden die Nachteile beider Verfahren vermieden. Man erhält Verbindungen, die den höchsten mechanischen Anforderungen genügen, und die außerdem an Präzisionsstücken ausgeführt werden können, ohne daß dieselben sich verziehen oder irgendwie leiden.

Das in *Engineering* vom 2. 9. 21, Seite 338, beschriebene Verfahren besteht darin, daß die zu verbindenden Eisen- oder Stahlstücke ohne vorhergehende Reinigung der Oberfläche oder Auftragung eines Flußmittels aneinandergelegt und zwischen dieselben eine geringe Menge Kupfer oder einer Kupferlegierung (Bronze) gebracht wird. Alsdann wird das Ganze im Wasserstoffstrom auf eine Temperatur oberhalb des Schmelzpunktes des Kupfers oder der Legierung erhitzt und abkühlen lassen. Durch die reduzierende Wirkung des Wasserstoffs wird die Eisenoberfläche reduziert, und die durch Reduktion entstandene aufgeraute Metallhaut ist für die Aufnahme des Kupfers außerordentlich günstig. Das Kupfer zeigt die merkwürdige Eigenschaft, im Wasserstoff zu einer außerordentlich dünnflüssigen Flüssigkeit zu schmelzen, die das Eisen außergewöhnlich gut benetzt, so daß es in die geringsten Risse und Zwischenräume eindringt und sie ausfüllt. Deshalb kommt man, wenn die zu verbindenden Teile genau aufeinander paßten, mit einer minimalen Menge Kupfer aus, die nur einen ganz geringen Bruchteil der Menge des sonst gewöhnlich verwandten Hartlotes ausmacht.

Die Verbindung kann noch weiter verbessert werden durch nachträgliche Erhitzung des mit Kupfer verbundenen Stückes. Hierbei finden in der Verbindungsnaht Diffusionsvorgänge statt, so daß schließlich die ursprüngliche Kupferschicht ganz verschwindet. Wegen dieser Diffusionsvorgänge lassen sich die einmal verbundenen Teile nicht durch Heraus-schmelzen des Kupfers wieder trennen. Deshalb kann das Verfahren nicht mit einer Lötung identifiziert werden.

Abgesehen davon, daß die mechanischen Eigenschaften einer derartigen Verbindung denen einer Hartlot- und auch Schweißverbindung überlegen sind, beruht die Bedeutung des beschriebenen Verfahrens in erster Linie auf der Möglichkeit der Herstellung präzise verbundener Stücke, die in einer genau vorgeschriebenen Weise vereinigt werden müssen. Es ergibt sich so die Möglichkeit, die Fabrikation komplizierter Formstücke, zum Beispiel verschiedener Bestandteile der Dampfturbinen, durch Herstellung aus zwei einfacheren und deren nachträgliche Vereinigung oft wesentlich zu ver-

einfachen und zu verbilligen, ja zuweilen auch erst zu ermöglichen. Andererseits ist das Verfahren wegen der Notwendigkeit der Herstellung einer Wasserstoffatmosphäre umständlich und wohl nur für kleinere Teile, die in einen Ofen gebracht werden können, praktisch durchzuführen. Auch ist zu bedenken, daß die Eisen- oder Stahlstücke durch die hohe Erhitzung im Wasserstoffe durch Rekristallisation, Übergang des Eisens in den  $\gamma$ -Zustand, auch leicht durch chemische Beeinflussung (Entkohlung durch Wasserstoff) sich verändern können, und daß es oft unmöglich sein wird, durch nachträgliche thermische Behandlung (Abschrecken u. dgl.) diese Veränderungen gänzlich rückgängig zu machen.

Masing.

## Astronomische Mitteilungen.

**American Astronomical Society** (Publications Vol. III). Es gibt wohl kaum eine bessere Gelegenheit, sich das Gesicht einer Wissenschaft deutlich vor Augen zu führen, die Natur und Wandlung der im Vordergrund stehenden Probleme zu studieren, als in kürzeren oder längeren Abständen sich wiederholende Tagungen. Mit großer Freude wurde daher nach der langen Unterbrechung durch die Kriegsjahre die Wiederaufnahme der gewohnten Zusammenkünfte begrüßt und diese allgemeine Freude fand ihren Ausdruck in der allenthalben festzustellenden überaus zahlreichen Beteiligung an den verschiedenen Versammlungen. Wem persönliche Teilnahme nicht möglich ist, dem müssen und können, wenn sie gut abgefaßt sind, Berichte einen teilweisen Ersatz bieten, der natürlich nur unvollkommen sein kann, weil der Gedankenaustausch „zwischen den Szenen“ in Fortfall kommt. In einer solchen Lage befinden wir uns vor allem gegenüber den Versammlungen unserer ausländischen Kollegen; aber gerade darum ist es vielleicht um so notwendiger, daß wir uns ihre Berichte eingehend ansehen, so die Brücke schlagend von unserer Welt zu der ihrigen, die persönlich zu begehen in der nächsten Zukunft mehr denn je das Glück einiger Auserwählten sein wird.

Nicht ganz ohne eine leise Klage wird man den seit kurzem bei uns zugänglichen Band III der „Publications of the American Astronomical Society“ durchblättern, der die Berichte über 6 in den Jahren 1914 bis 1917 abgehaltene Versammlungen enthält und leicht ein wenig bedrückend wirkt durch die Fülle von Arbeiten, von denen er Kunde gibt und an denen wir wenig Anteil haben. Aber andererseits ist der Band auch geeignet, denen, die nicht müde werden, von der zunehmenden Arterienverkalkung der Astronomie zu sprechen, zu zeigen, daß doch noch frisches junges Leben in dieser alten Wissenschaft pulsiert, daß es Probleme in ihr gibt, die es wert sind, daß man ihnen ein ganzes Leben hingibt.

Ich will hier nur einiges herausgreifen, woran mein Blick sich gerade festhakte und wo der Geist willkommene Anregung fand. Da ist vor allem der Vortrag *H. N. Russells* über „Relations between the Spectra and other Characteristics of the Stars“, der in Atlanta am 30. Dezember 1913 gehalten wurde und vollständig wiedergegeben ist. Diese noch der Vorkriegszeit angehörigen Ideen sind ja inzwischen fast Allgemeingut geworden. Um so interessanter, sich die Reproduktionen der Originaldiagramme anzusehen, in denen sich so deutlich die von *Hertzsprung* schon 1905 angekündigte Zweiteilung der Sterne in Riesen und Zwerge zu erkennen gibt und die für *Russell* der Aus-

gangspunkt wurde für seine Theorie der Sternentwicklung vom roten Riesen in aufsteigender Linie über den gelben zum weißen Stern und dann zurück zum roten Zwerg.

Nicht minder anregend sind die einen breiten Raum einnehmenden Berichte der Parallaxenkommission. Legen sie doch beredtes Zeugnis ab für die Erfolge, welche planmäßige Zusammenarbeit erzielen kann. Man erkennt nun, wie die umfangreichen Listen photographisch bestimmter Parallaxen zustandegekommen sind, mit denen uns die Amerikaner mehr oder weniger überraschten, als der Austausch der Publikationen wieder einsetzte. Eine ganze Reihe von Instituten hatten sich zusammengetan, ihre Beobachtungsprogramme nach einheitlichen Gesichtspunkten aufgestellt und ausgetauscht, um Vollständigkeit zu erreichen und unnötige Doppelbeobachtungen zu vermeiden. Lehrreich vor allem die auf den Seiten 149—155 wiedergegebenen Meinungsäußerungen der beteiligten Forscher! Und nicht zu vergessen, daß auch das Werden und die Erfolge der auf dem Mt. Wilson entwickelten spektroskopischen Methode sich in den Versammlungsberichten widerspiegeln.

Eine neue Saite wird angeschlagen in den Berichten *Eichelbergers* und *Morgans* über die systematischen Fehler unserer Fundamentalkataloge, wie sie sich aus den Beobachtungen in Washington aus dem letzten Jahrzehnt ergeben. Es geht daraus erneut hervor — wie übrigens auch aus einer Reihe bei uns angestellter Beobachtungen — wie sehr die Fundamentalkataloge einer gründlichen Revision bedürfen, damit sie wieder zu dem werden, was sie sein sollen und heute nur mehr in bescheidenem Maße sind: Orientierungselemente für ein praktisch „absolutes“ Koordinatensystem. Man muß darauf immer wieder hinweisen, weil zu viele andere und lockendere Aufgaben gegenwärtig vorhanden sind, denen das Interesse der Mehrzahl vor allem der jüngeren Astronomen gilt.

Eigenbewegungen und Radialbewegungen der Sterne bilden ein von Jahr zu Jahr an Umfang zunehmendes Kapitel. Neben den einzelnen Ausnahmeerscheinungen — wie etwa der von *Barnard* entdeckte „Schnellläufer“ im Ophiuchus oder die Spiralnebel mit scheinbaren Radialgeschwindigkeiten von 1000 km und mehr — sind es vor allem die großen Probleme der Sternströme und der Sonnenbewegung, welche stets von neuem zur Diskussion Anlaß geben.

Gegenüber der großen Entwicklung, welche die Stellarastronomie in den letzten Jahrzehnten genommen hat, treten die durch das Planetensystem gestellten Probleme leicht etwas zu sehr in den Hintergrund. Es ist darum erfreulich, zu bemerken, daß die Amerikanische Astronomische Gesellschaft sich noch Unvoreingenommenheit genug bewahrt hat, um sich nach wie vor mit den Bewegungen der großen und kleinen Planeten und der Kometen, mit den mannigfaltigen Erscheinungen auf der Sonne, mit dem Zodiakallicht und anderen interplanetaren Vorkommnissen zu befassen.

Es bedarf wohl kaum der besonderen Erwähnung, daß neben dem hier Angedeuteten jeder noch mancherlei ihn besonders Interessierendes finden wird, namentlich auch Hinweise auf die einschlägige Literatur. Hervorgehoben sei nur noch, daß jedem Bericht ein Bild der Versammlungsteilnehmer beigegeben ist; man sieht sich doch ganz gerne die Herren Kollegen, deren Namen und Arbeiten man kennt und die man nur in Ausnahmefällen von Angesicht zu Angesicht wird schauen können, im Bilde an!

H. Kienle.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von

**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in **Würzburg**

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 14. (Seite 313—336)

7. April 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Neue Funde fossiler Menschenreste in Südafrika und Australien. Von *O. Abel*, *Wien*. (Mit 2 Abbildungen.) S. 313.

Wie sehen wir die Natur und wie sieht sie sich selber? (Schluß.) Von *I. v. Uexküll*, *Heidelberg*. (Mit 1 Abbildung.) S. 316.

Der Streit um das Elektron. Von *R. Bär*, *Zürich*. S. 322.

### Besprechungen:

Newcomb-Engelmanns populäre Astronomie. 6. Auflage. Von *S. Oppenheim*, *Wien*. S. 327.

Chemiker-Kalender 1922. Von *I. Koppel*, *Berlin-Pankow*. S. 329.

### Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Zur Frage der Lokalisation von Schallquellen. Von *H. Carsten* und *H. Salinger*, *Berlin*. S. 329.

Erwiderung. Von *H. Hecht*, *Kiel*. S. 330.

St. Johns und Babcocks Beobachtungen über die Rotverschiebung der Spektrallinien auf der Sonne. Von *M. v. Laue* und *P. Pringsheim*, *Berlin*. S. 330.

Mitteilungen aus der technischen Optik. S. 331—335.

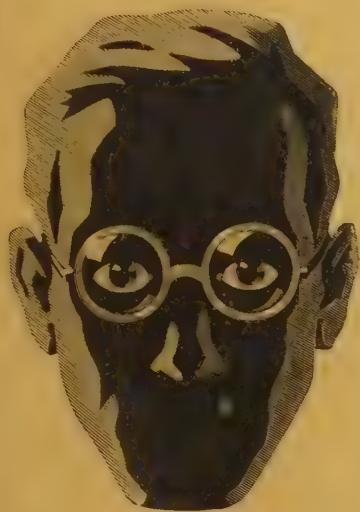
Einiges über Sehrohre. (Mit 1 Abbildung.) Der Strahlengang in Sehrohren mit einem Umkehrsystem aus zwei getrennten Linsen. Achromatische vierlinsige Okulare.

Botanische Mitteilungen. S. 335—336.

Ein Schema für die osmotische Leistung der Pflanzenzelle. Ein Spiegelauxanometer für Keimwurzeln. Pfropfversuche. Ein neues Diaphanoskop. Über den Einfluß von Verwundungen auf die Permeabilität.

Astronomische Mitteilungen. S. 336.

Die Plejaden.



## GOERZ

### Largon-Brillengläser

übertreffen an Sehschärfe die bisher besten modernen Gläser  
Sie liefern bei schrägem Durchblick unter 30° zur Achse  
etwa doppelt so scharfe Netzhautbilder als die punktuell  
abbildenden Gläser.

Bezug durch die Optiker. \* Druckschriften kostenfrei.

Optische Anstalt C. P. Goerz A.-G. Berlin-Friedenau 45

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinn. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 60.— für das zweite Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 6.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.

Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.

Postscheck für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20120 Julius Springer.

Konten: für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

### Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

J. D. Möller, Wedel in Holstein.

Gegründet 1864.

(250)

### Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu kaufen gesucht. Angebote unter  
Nw. 236 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

VERLAG VON J. F. BERGMANN IN MÜNCHEN

# Der diluviale Menschenfund von Obercassel bei Bonn

Von

Professor Dr. Max Verworn,

Professor Dr. R. Bonnet

und

Professor Dr. Steinmann

Mit 28 Tafeln und 72 Textfiguren. 1919

M. 180.— (und Teuerungszuschlag)

Zu beziehen durch jede Buchhandlung



# DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zehnter Jahrgang.

7. April 1922.

Heft 14.

## Neue Funde fossiler Menschenreste in Südafrika und Australien.

Von Othenio Abel, Wien.

Unsere Kenntnisse von den fossilen Überresten primitiver Vertreter des Menschengeschlechtes sind in den letzten Jahren durch wiederholte Untersuchungen der verschiedenen zum Teile schon aus älterer Zeit stammenden Funde wesentlich vertieft worden. Da aber diese Forschungen jetzt im großen und ganzen als abgeschlossen betrachtet werden dürfen, so erscheint es für den weiteren Ausbau unserer Kenntnisse von den ersten Anfängen der Menschheitsgeschichte sehr erfreulich, daß in der letzten Zeit einige Funde gemacht worden sind, die ein neues Licht auf verschiedene der vielen noch dunkeln Fragen zu werfen geeignet sind.

Es hat eine Zeit gegeben, in der auf dem Boden Europas eifrigst nach den Spuren des Tertiärmenschen gesucht wurde, über dessen Existenz oder Nichtexistenz viel gestritten worden ist. Man hat bei diesen Versuchen zu einer Lösung des Problems vom Alter des Menschengeschlechtes immer übersehen, daß die ersten und ältesten Menschenreste sowohl auf dem Boden Europas wie in allen außereuropäischen Gebieten, aus denen fossile Menschenreste bekannt geworden sind, ohne Ausnahme nicht tiefer als bis in das *Plistozän* hinabreichen, und daß auch der viel umstrittene *Pithecanthropus erectus* aus Java davon keine Ausnahme macht. Die verschiedenen Versuche, für Südamerika die Existenz des Tertiärmenschen beweisen zu wollen, die gerade in letzter Zeit wieder lebendig geworden sind<sup>1)</sup>, sind ebenso als durchaus fehlgeschlagen zu betrachten wie die Bemühungen, aus den Funden der berühmten „Eolithen“ den Nachweis für das Vorhandensein des Tertiärmenschen auf europäischem Boden zu führen. Wir sind zu der Überzeugung geführt worden, daß die Entstehung des Menschen zwar ohne Zweifel in die Tertiärzeit fallen muß, daß aber aus dieser Zeit bis jetzt keine fossilen Reste des Menschengeschlechtes bekannt sind, weil wir sie nicht dort gesucht haben, wo sie allein zu erwarten sind, nämlich in den heute eine trostlose Wüste darstellenden Gebieten *Zentralasiens*, aus denen die Menschen zusammen

mit verschiedenen Artengruppen von Säugetieren infolge zunehmender Verschlechterung des Klimas zu Beginn der Eiszeit zur Auswanderung gezwungen wurden. Ich habe es vor einigen Jahren versucht<sup>2)</sup>, diese Überlegungen zu einem Gesamtbilde zu vereinigen, das die Urheimat der Hominiden nicht in den Tropen und nicht im hohen Norden, weder in Afrika noch in Australien, Insulinde oder sogar in Südamerika sucht, sondern in die heute unwirtlichen Steppen und Hochwüsten Zentralasiens verlegt, aus denen uns vielleicht in nicht allzu ferner Zeit die eine oder andere glückliche Expedition dokumentarische Belege für diese einstweilen nur auf dem Wege von Indizien gezogenen Schlüsse zu erbringen in der Lage sein wird.

Die verschiedenen Vertreter des Menschengeschlechtes, die wir in fossilem Zustande außerhalb Zentralasiens finden, sind somit als Auswanderer aus einer fernen Heimat und nicht als die bodenständigen Ureinwohner der betreffenden Gebiete anzusehen. Es erscheint daher auch als ein ganz falscher Gesichtspunkt, zwischen den verschiedenen Vertretern der aufeinanderfolgenden Auswandererwellen, als die sich uns die fossilen Menschenreste Europas darstellen, direkte Ahnenlinien nachweisen zu wollen; die Verschiedenheiten, die zwischen dem Heidelberger Menschen, dem Neandertaler, dem Menschen von Brünn, Cro-Magnon usw. bestehen, werden uns dagegen viel verständlicher, wenn wir nicht nach direkten genetischen Beziehungen zwischen diesen Vertretern der aufeinanderfolgenden Auswandererwellen, die aus Asien abfluteten, suchen.

Ist es also nach dem Gesagten auch nicht wahrscheinlich, in Afrika oder Australien „den“ Stammvater der jüngeren Menschenrassen (richtiger sollten wir immer sagen *Menschenarten*) aufzufinden, so vervollständigt doch jeder neue Fund eines fossilen Menschen das bisher immer noch außerordentlich lückenvolle Bild von der Entstehung des Menschengeschlechtes und der Geschichte seiner Abwanderung aus seiner zentralasiatischen Urheimat.

Von diesem Standpunkte aus sind auch die neuen Funde fossiler Menschenreste in Südafrika und Australien freudig zu begrüßen, da sie neues Licht auf die Geschichte der ersten Besiedlung dieser Erdteile zu werfen geeignet sind.

Von diesen beiden Funden ist der erstere

<sup>1)</sup> Eric Boman, Encore l'Homme tertiaire dans l'Amerique du Sud. — (Journal de la Société des Américanistes de Paris, Nouv. Sér., T. XI, 1919, pag. 657—664). — Los vestigios de industria humana encontrados en Miramar (Republica Argentina) y atribuidos a la época terciaria. — (Revista Chilena de Historia y Geografía, T. XXXIX, Santiago 1921, pag. 330—352).

<sup>2)</sup> O. Abel, Das Entwicklungszentrum der Hominiden. — Sitzungsberichte d. Mitteilungen der Anthropol. Ges. in Wien 1918—1919, pag. (25), (27)—(29).

zweifelloos der weitaus wichtigere<sup>3)</sup>. Er wurde in einer Höhle am Broken Hill in Nordwest-Rhodesien zu Ende des Sommers 1920 gemacht; der Fund umfaßte einen fast vollständigen Schädel, dem allerdings leider der Unterkiefer fehlte, das Oberkieferfragment eines zweiten Schädels, ein Sacrum, eine Tibia und die beiden Endstücke eines Femurs. Diese wertvollen Reste befinden sich jetzt im Britischen Museum zu London.

Das Broken-Hill-Bergwerk, das auf die Gewinnung von Metallen angelegt worden ist, die sich in ziemlicher Menge in den Tropfsteingebilden der Höhlen des Broken Hill vorfinden, hat schon vor einer Reihe von Jahren neben zahlreichen meist in kleine Stücke zerbrochenen und zerbrochenen Knochen und Kieferstücken verschiedener Säugetiere, rohe Steinwerkzeuge und bearbeitete Knochen in größerer Zahl geliefert. Die Untersuchung dieser Knochenfragmente durch Ch. W. Andrews und E. C. Chubb hat ergeben, daß es sich, soweit aus den sehr schlecht erhaltenen Knochenresten etwas Genaueres zu entnehmen war, um die Überreste von Arten handelt, die heute noch in Rhodesia leben oder von den rezenten Arten dieses Gebietes nur unbedeutend verschieden sind. Aus dem Charakter der Säugetierfauna der Bodenschichten der Broken-Hill-Höhlen konnte also bis heute kein zwingender Anhaltspunkt für die Bestimmung des geologischen Alters der Höhlenausfüllung gewonnen werden; gleichwohl scheint mir kein Grund gegen die Annahme vorzuliegen, daß das Alter dieser Ablagerungen ein relativ hohes zu sein scheint, da sich die pliozäne Säugetierfauna Südafrikas, soviel wir heute darüber wissen, nur ganz unbedeutend von der rezenten unterscheidet. Sicher ist es, daß die Höhlen lange Zeit hindurch vom Menschen bewohnt gewesen sein müssen, wie aus der Menge der zerschlagenen Steine und Knochen hervorgeht, wenn auch sicher an der Zertrümmerung der Knochen nicht allein der Mensch, sondern auch verschiedene Raubtiere beteiligt gewesen sind.

Der wohlerhaltene Schädel (Fig. 1) ist in verhältnismäßig frischem Zustande und weist keine Spuren von Petrifikation auf. Der Gesamteindruck, den man bei seiner ersten Betrachtung gewinnt, ist ungefähr derselbe wie jener der bekannten Schädeltypen des Neandertalers aus den Höhlen von Deutschland, Frankreich, Belgien und Gibraltar. Trotzdem muß sofort festgestellt werden, daß die Hirnhöhle einen typisch menschlichen Charakter besitzt, daß die Dicke des Schädeldaches nicht stärker ist als die des Durchschnittseuropäers und daß auch der Rauminhalt der Hirnhöhle noch über der untersten Grenze der menschlichen Schädelkapazität zu liegen scheint, wenngleich genauere Angaben noch nicht

vorliegen. Immerhin genügt die vorläufige Mitteilung von Arthur Smith Woodward über die Morphologie des neuen Schädels, um sich ein Bild von den Beziehungen desselben zu den anderen bisher bekannten primitiven Schädeltypen zu machen.

Ein sehr auffallendes Merkmal zeigt der neue Schädel in der Form des vorderen Abschnittes des Schädeldaches, das an jenes des *Pithecanthropus erectus* aus dem Plistozän Javas erinnert, so wie dieses eine schwache, kammartige Mittelleiste entlang den Frontalia trägt und seine höchste Höhe erst im Bereiche der Kronennaht erreicht. Im Vergleiche zu *Pithecanthropus* ist jedoch der Schädel von Broken Hill viel größer und die Ähnlichkeiten können keinesfalls als Beweise für engere genetische Beziehungen gedeutet werden. Der stark vorspringende, große und plumpe Gesichtsabschnitt ist in seinem Gesamtbilde viel affenähnlicher und die Augenbrauenbögen, die sehr



Fig. 1. Schräge Vorderansicht des Schädels von *Homo rhodesiensis* A. Smith-Woodward, aus der Knochenhöhle von Broken Hill in Nordwest-Rhodesia, gefunden im Sommer 1920.

(Nach einer Photographie von A. Smith-Woodward.)

stark entwickelt sind, dehnen sich seitlich viel weiter aus als beim Neandertaler.

Die Länge des Schädels von der Mitte der Glabella bis zum Inion ist etwa 210 mm, die Maximalbreite in der Parietalregion 145 mm. Der Schädel ist dolichocephal mit einem Index von 69. Die größte Höhe (vom Basion bis zum Bregma gemessen) beträgt 131 mm.

Im Gesamtcharakter der Hirnhöhle entspricht der Schädel von Broken Hill weit mehr dem normalen rezenten Menschentypus als der des Neandertalers, der sich von dem ersteren namentlich in den Charakteren des Hinterhauptes mehr unterscheidet. Wichtig ist die eher dem rezenten Menschentypus entsprechende Lage des Foramen magnum am Schädel von Broken Hill, so daß aus diesem Verhalten ein aufrechter Gang, beziehungsweise eine aufrechte und nicht eine nach vorne übergebeugte Haltung des Rumpfes für den Menschen aus Rhodesia zu erschließen

<sup>3)</sup> Arthur Smith-Woodward, A New Cave Man from Rhodesia, South Africa. — (Nature, London, Nov. 17, 1921.)



ist, eine Schlußfolgerung, die auch im Verhalten der *Gliedmaßenknochen* ihre Stütze findet, die einen modernen Charakter tragen und sich daher von denen des Neandertalers wesentlich unterscheiden.

Die *Gesichtsknochen* erinnern in mancher Hinsicht an die des Neandertaler Menschen von La Chapelle-aux-Saints. Bemerkenswert ist der typisch menschliche vordere *Nasenkamm*, während in der Begrenzung der unteren Außenenden der *Nasenöffnung* ein stark an den Gorilla erinnernder Zug das Bild des Gesichtes beeinflusst. Von enormer Größe ist der *Gaumen*, der aber in allen Merkmalen wieder ein modernes Gepräge trägt und typisch menschlich ist; ebenso ist auch die *breite Pferdehufform der Zahnreihe* ein Merkmal, das den Schädel von Broken Hill bestimmt von primitiven europäischen Diluvialmenschen, z. B. von dem 1914 entdeckten Ehringsdorfer Menschen<sup>4)</sup>, unterscheidet. Leider sind die Zähne stark abgenutzt, so daß die Einzelheiten ihrer Höckerformen nicht beobachtet werden können; wichtig ist die relative Kleinheit der Eckzähne. Die ganze Bezahnung ist stark durch *Caries* affiziert, die sich bis zu den Zahnwurzeln ausgedehnt hat, wie an den Perforationsstellen derselben bei mehreren Zähnen zu beobachten ist.

Wenn auch der *Unterkiefer* fehlt, so läßt sich doch aus den Verhältnissen des Oberkiefers der sichere Schluß ziehen, daß er ungewöhnlich groß und massig gewesen sein muß. Sogar der durch seine besondere Größe und Plumpheit hervorstechende Unterkiefer des Heidelberger Menschen ist kleiner und kürzer, als dies aus den Verhältnissen des Schädels von Broken Hill für dessen Unterkiefer zu erschließen ist.

Fassen wir alles, was sich einstweilen über den *Schädel von Broken Hill* sagen läßt, kurz zusammen, so ergibt sich, daß er einem *Typus* entspricht, der *bis jetzt vollkommen unbekannt* gewesen ist. Es ist daher die Aufstellung einer eigenen Art, für die A. Smith Woodward den Namen *Homo rhodesiensis* in Vorschlag bringt und die richtiger, ebenso wie für den Heidelberger und Neandertaler, auch noch durch eine besondere *Gattungsbezeichnung* stärker betont werden sollte, durchaus gerechtfertigt. Über die genauen Beziehungen zwischen den verschiedenen pliozänen Menschenarten und dem Rhodesier läßt sich einstweilen noch kein vollständig abschließendes Urteil fällen; sicher ist es, daß dieser neue Typus mit einer Reihe altertümlicher Züge auch solche ausgesprochen fortgeschrittenen Charakters verbindet. Vor allem erscheint der Gesichtsteil und der Vorderabschnitt des Schädeldaches mit den ungewöhnlich stark entwickelten Supraorbitalwülsten sehr primitiv, während die Geräumigkeit der Hirnhöhle, die Lage des Foramen magnum,

die Breite des Gaumens und der dadurch bedingte weite Abstand der beiden Zahnreihen, die Merkmale der Gliedmaßenknochen usw. als Merkmale vorgeschrittener Spezialisierung zu bewerten sind. Für die Frage der Besiedlung Afrikas durch primitive Auswandererwellen zentralasiatischer Herkunft und die Beziehungen zu den Negervölkern Afrikas dürfte die genauere Untersuchung der Reste noch manches wertvolle Ergebnis erbringen, worüber einstweilen das letzte Wort noch nicht gesprochen werden kann.

Der zu Talgai in Queensland entdeckte und 1918 von S. A. Smith<sup>5)</sup> beschriebene und abgebildete Schädel ist zwar für die Vorgeschichte der *Australier* von ziemlicher Wichtigkeit, kommt aber an wissenschaftlicher Bedeutung dem Schädel von Broken Hill bei weitem nicht gleich. Das geologische Alter ist unsicher, dürfte aber wahrscheinlich pliozän sein; der Schädel (Fig. 2) fällt besonders durch seine langgestreckte Form, die geringe Höhe, die starke Prognathie und die

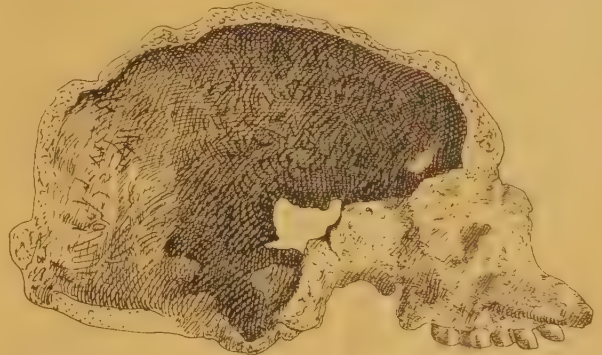


Fig. 2. Medianschnitt durch den Schädel eines primitiven Australiers aus dem Pliozän (?) von Talgai, Queensland.

(Nach einer Photographie von S. A. Smith.)

bedeutende Breite des Gaumendaches sowie die damit verbundene breite Hufform der Zahnreihe auf. Er ist ausgesprochen dolichocephal.

Es scheint so, als ob der Gegensatz zwischen dolichocephalen und brachycephalen Schädeln vielfach überschätzt worden wäre. Untersuchungen an rezenten Australierschädeln und Papua-schädeln, die Heber A. Longman, der Direktor des Queensland Museums, vor kurzem veröffentlicht hat<sup>6)</sup>, zeigen, daß in Australien und Neuguinea *nebeneinander* dolichocephale und brachycephale Typen auftreten. So schwanken z. B. die Schädelindizes bei Schädeln aus dem Fly River-Distrikt (Neuguinea) zwischen 74,6 und 86. Zwischen den beiden Extremen vermitteln mesati-

<sup>5)</sup> S. A. Smith, The Fossil Human Skull found at Talgai, Queensland. — (Philosoph. Transactions Roy. Soc. London, (B), Vol. CCVIII, 1918, pag. 351—387, Pl. 12—18.)

<sup>6)</sup> Heber A. Longman. Notes on Certain Human Crania in the Queensland Museum. Memoirs of the Queensland Museum, Vol. VI, December 1918, pag. 1, Pl. I.—V.

<sup>4)</sup> H. Virchow, Die menschlichen Skelettreste aus dem Kämpferschen Bruch im Travertin von Ehringsdorf bei Weimar. — Jena, G. Fischer, 1920, 141 pag., 42 Textfig., 8 Taf.

cephale Typen. Bei dieser Gelegenheit mag erwähnt werden, daß der Leutnant-Gouverneur von Britisch-Neuguinea, Herr J. W. P. Murray, vor kurzem auf die Existenz von Individuen im Gebiete des Fly River hingewiesen hat, „who, if they may be taken as a fair type of their tribe, might possibly be classified as pygmies, or, more probably, as a mixed race descended from pygmies and people of ordinary stature.“ („Man“, March 1918, pag. 43.)

Unter den verschiedenen, von Heber A. Longman 1918 abgebildeten und beschriebenen Australiertypen fällt besonders ein Unterkiefer auf, der in überraschender Weise an den Unterkiefer des Heidelberger Menschen erinnert. Wie dieser ist der Kiefer außerordentlich robust, der Ramus steht rechtwinkelig zur Kieferachse, und die Höhe des Unterkieferastes im Bereiche des Molarenabschnittes beträgt nicht weniger als 40 mm. Am Ende der Zahnreihe befinden sich die Alveolen für je einen (ausgefallenen) überzähligen Molaren, eine Erscheinung, die sich übrigens nach den Untersuchungen von Duckworth (Studies from the Anthropol. Lab., Camb., 1904, pag. 122) bei ungefähr 50 % der männlichen Orang-Utans beobachten läßt. Schon Klaatsch hat die Ausbildung überzähliger Molaren beim Menschen als ein sehr primitives Merkmal bezeichnet; in Verbindung mit den übrigen außerordentlich primitiven Charakteren dieses Unterkiefers gewinnt diese Erscheinung an Interesse. Leider ist die genaue Herkunft dieses (rezenten) Unterkiefers unbekannt; wahrscheinlich stammt er aus Australien.

Jedenfalls werden wir uns davor hüten müssen, in den neuen Funden fossiler Menschenreste in Südafrika und Australien mehr zu sehen als die Anzeichen dafür, daß in der Pliozänzeit verschiedene Auswandererwellen aus der zentralasiatischen Urheimat des Menschengeschlechtes nach den peripheren Gebieten abfluteten. Es würde unsere Forschungen über die Frage nach der Entstehung des Menschen und über die Geschichte der verschiedenen Menschenarten in ein falsches Fahrwasser leiten, wenn wir diese neuen Funde dazu benützen würden, zwischen den bisher bekannt gewordenen Menschenarten aus der Pliozänzeit nach direkten genetischen Linien zu suchen. Wahrscheinlich sind die Hominiden schon in ihrer Urheimat in verschiedene Arten gespalten gewesen, so daß die Unterschiede zwischen den verschiedenen Vertretern der Hominiden, die seit Beginn der Eiszeit Zentralasien verließen, in eine weit ältere Zeit zurückreichen, als man oft anzunehmen geneigt zu sein scheint. Ich möchte auch hier wieder, wie ich dies schon andernorts (l. c., 1919) getan habe, darauf hinweisen, daß die verschiedene Hautfarbe der verschiedenen Menschenarten wahrscheinlich schon vor der Zeit der „Mensch“-werdung fixiert gewesen ist, da wir auch in der Familie der Semnopitheciden oder Schlankaffen ähnlichen Färbungsunterschieden der Haut wie bei den Men-

schen begegnen: bei *Semnopithecus priamus* einer hellgelben, bei *Semnopithecus entellus* einer schwarzvioletten, bei *Nasalis larvatus* einer grauen und bei *Semnopithecus obscurus* einer weißen Hautfarbe. Die Färbungsdifferenzen der Haut reichen also auch wahrscheinlich sehr weit in die Ahnenreihe des Menschen zurück, und es ist durchaus möglich, ja sogar sehr wahrscheinlich, daß die durch verschiedene Hautfarbe wie auch durch andere Merkmale voneinander verschiedenen Menschenarten schon zur Zeit ihres Aufenthaltes in ihrer zentralasiatischen Urheimat getrennte Gebiete bewohnten. Über alle diese Fragen wird jedoch, ich wiederhole es, nur eine genauere Erforschung Zentralasiens und nicht der außerasiatischen Kontinente die ersehnte Klarheit bringen können.

## Wie sehen wir die Natur und wie sieht sie sich selber?

Von J. v. Uexküll, Heidelberg.

(Schluß.)

### III.

Hier zweigen sich die Wege der physikalischen und biologischen Weltbetrachtung deutlich voneinander ab.

Der Physiker dehnt den menschlichen Raum und die menschliche Zeit über die dem Menschen sinnlich wahrnehmbare Welt in der Vorstellung bis zur Unendlichkeit aus. Diesen gedachten Raum und diese gedachte Zeit nennt er den „wirklichen Raum“ und die „wirkliche Zeit“.

Der Biologe sieht in Raum und Zeit nur den Rahmen und die Pfeiler seiner sinnlich wahrnehmbaren Welt. Außerhalb seiner Sinne haben auch Raum und Zeit wie alle Sinnesqualitäten keinen Sinn. Für ihn ist die sinnlich wahrnehmbare Welt die „wirkliche Welt“.

Der Physiker baut in seiner Vorstellung eine Welt, die ausschließlich aus räumlich angeordneten Elementen besteht, die mechanisch aufeinander einwirken.

Der Biologe weiß, daß er, wenn er in Gedanken die Grenzen seiner Seifenblase überschreitet, auch dann noch seinen Raum und seine Zeit nicht los wird, weil er auch in der Vorstellung an die Grundbedingungen seiner Sinnlichkeit gebunden ist. Daher bilden Raum und Zeit den menschlichen Rahmen und die menschlichen Pfeiler auch der gedachten Welt.

Trotzdem erkennt er, daß es sinnliche Welten gibt, die von einem anderen Raum und einer anderen Zeit getragen und geordnet werden, weil es außer den Menschen auch andere Subjekte mit anderen Sinnlichkeiten gibt, die daher von anderen Welten umgeben sein müssen.

Solange wir es mit einem Subjekt zu tun haben, dessen Umwelt, wie z. B. bei der Wespe, kleiner und ärmer ist als die unsere, können wir diese Seifenblase aus unserer Welt heraus-



schneiden und behaupten, die richtige Welt sei doch die des Menschen, von der die Wespe nur einen kleinen Teil wahrnimmt. Drehen wir aber einmal das Verhältnis um und denken wir uns unsere Welt als Seifenblase in einer umfassenderen und reicheren Welt schwebend, von der wir infolge unserer beschränkten Sinnlichkeit nichts wahrnehmen, so würde uns auch unsere Vorstellung, mit der wir unsere Seifenblase bis zum Platzen aufblasen, nichts helfen, um von der anderen Welt irgend etwas zu erkennen. Und doch wäre die größere Welt dann die richtigere.

In dieser Lage befinden wir uns tatsächlich der Natur gegenüber. Wir erfahren von ihr ebensowenig wie die Wespe von unserer Welt, weil wir wie die Wespe an die Grenzen unserer Sinnlichkeit gebunden sind und mit unserer Seifenblase in ein unbekanntes Etwas hineingestellt sind, von dem wir gerade soviel erfahren, als wir von ihm Bilder in unserer menschlichen Bildersprache in uns aufnehmen können. Diese Bilder verknüpfen wir in der Vorstellung zu einem größeren Gesamtbilde, wie das auch die intelligente Wespe tun würde, wenn sie mit ihrer Seifenblase unseren Garten durchfliegt und die geschauten Wespendinge zu einem Gesamtbilde in ihrer Vorstellung vereinigte.

Es ist daher ein menschlich vielleicht verzeihlicher Irrtum, wenn die Physiker und Astronomen vermaßen, mit ihrem in der Vorstellung geschaffenen Weltbilde die Grenzen der Natur selbst aufgezeigt zu haben. Aber es bleibt ein Irrtum, weil dies Weltbild eine wesentliche Seite der mannigfaltigen Natur übersieht.

Unsere menschliche Welt verdankt ihren Ursprung den Elementen unserer Sinnlichkeit und ihrer Verknüpfung in unserem Gemüte. So bleibt sie unter allen Umständen unsere Merkwelt, die sich aus menschlichen Merkzeichen zusammensetzt.

Sobald wir das Vorhandensein anderer Subjekte mit anderen Merkzeichen zugeben, vervielfältigt sich auch die Zahl der Welten. Eine Tatsache, die die Physiker vollständig übersehen haben.

Das Studium dieser Welten hat uns nun gelehrt, daß diese zahllosen Subjektumwelten keineswegs eine planlose Anhäufung von Seifenblasen darstellen, sondern daß sie alle auf das planvollste miteinander verknüpft sind.

Die Natur ist also mehr als ein bloßer Tummelplatz der Umweltseifenblasen, auf dem diese planlos durcheinander kugeln.

Nein, sie ist ein planvolles Gesamtgefüge, das in dauernder planvoller Umgestaltung und Erneuerung begriffen ist. Nur fehlt ihr das zentrale Subjekt, das wie alle Subjekte an Merken und Wirken gebunden wäre. An Stelle des zentralen Subjektes tritt ein alle Subjekte verbindender und beherrschender Plan. Ihm ist das Merken und Wirken aller Subjekte gleichmäßig unterworfen. Dieser Plan bestimmt für jedes

Subjekt, was und wie es zu merken habe, und umschreibt damit seine Merkwelt. Er bestimmt aber auch, wie das Subjekt zu handeln habe, und umschreibt damit seine Wirkungswelt. Nun kann ein Subjekt nur dann merken und wirken, wenn es die nötigen körperlichen Werkzeuge zum Merken und Wirken besitzt. Bevor das eigentliche Dasein eines Subjektes beginnt, müssen erst seine körperlichen Werkzeuge geschaffen werden, die das Subjekt ohne Werkzeuge nicht zu schaffen vermag. Diese sind aber im Keim des Subjektes nicht vorhanden.

Früher behalf man sich mit der Annahme, daß im Mikrogefüge des Keimes solche Werkzeug schaffende Werkzeuge bereit lägen, die unseren Augen unsichtbar blieben. Durch die Entdeckungen von Mendel und Driesch ist diese Annahme hinfällig geworden.

Im Keim eines jeden Tieres befindet sich nur das stoffliche Material und der Energievorrat, aus dem die Werkzeuge des Subjektes erst geformt werden sollen, aber keine Werkzeuge, um den Stoff zu formen.

In der Umgestaltung des Keimes haben wir einen Vorgang vor Augen, der aus allen uns sonst bekannten sinnlich wahrnehmbaren Vorgängen herausfällt.

Weder haben wir ein planloses Zusammenstoßen lebloser Stoffe vor uns, die niemals ein planvolles Gebilde hervorbringen können, noch haben wir ein mit Werkzeugen arbeitendes Subjekt vor uns wie beim ausgebildeten Tier.

Hier allein sehen wir den Naturplan an der Arbeit, wie er einen ungeformten Stoff unmittelbar zur Formannahme zwingt, ohne die Vermittlung geformter Werkzeuge. Das bedeutet die Einwirkung nicht materieller, aber planmäßig verbundener Faktoren auf den materiellen Stoff. Dafür fehlt uns, wenn wir von der ebenso undurchsichtigen Einwirkung unserer Willensimpulse auf unseren Körper absehen, jede Analogie, und deshalb sind diese Vorgänge so rätselhaft.

*Aber wo das Rätsel am größten, sind wir der Natur am nächsten.*

Alle Keime bestehen anfangs aus einer einzigen Zelle, die sich durch fortgesetzte Teilung in ein meist kugelförmiges Gebilde von zahlreichen gleichartigen Zellen verwandelt. Jede dieser Zellen ist ein selbständiges Subjekt, das aber merkwürdigerweise die Anweisung, was aus ihr bzw. aus ihren Tochterzellen werden soll, nicht fertig bei sich trägt.

Driesch hat gezeigt, daß man in diesem Stadium des Keimes die Zellen durcheinander würfeln kann, so daß sie ihre Plätze gegeneinander vertauschen, und trotzdem gestaltet sich der Keim völlig normal weiter, gleichgültig, welche Zellen die verschiedenen Plätze im Keime einnehmen.

Die Zellsubjekte des Keimes sind anfangs nicht individualisiert, sondern werden erst zu

verschiedenen Individuen durch einen speziellen Impuls, der jede von ihnen zu einer bestimmten Tätigkeit zwingt, indem er einem jeden Zellsubjekt ein spezielles Zeichen — sein Wirkzeichen — aufdrückt. Wie in einer Schar von Tänzerinnen die Bewegungen, die die einzelnen auszuführen haben, durch den Platz bestimmt sind, den sie im vorgeschriebenen Reigen einnimmt, so fügt sich jedes Zellsubjekt des Keimes, gleichgültig, auf welchen Platz es gestellt wird, ohne weiteres dem Reigengesetz des ganzen Keimes oder, wie man sich auch ausdrücken kann, der *Impulsmelodie*.

Die Impulsmelodie wird nicht in ihrer Gestaltbildung behindert, solange die Zellsubjekte sich in allen Punkten gleichen. Später freilich, wenn sich die Zellsubjekte auch stofflich differenziert haben, kommt es zu Mißbildungen, falls man willkürliche Verschiebungen mit ihnen vornimmt, weil dann der Impuls nicht mehr das richtige Wirkzeichen in den bereits individualisierten Zellsubjekten hervorrufen kann.

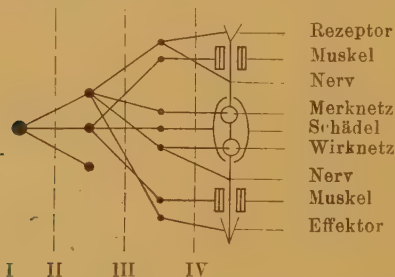


Fig. 2. Schema der Entstehung des Körpergefüges aus dem Keim. Das Nähere im Text.

Folgen wir nun aufmerksam und andächtig dem Reigen, den die Zellsubjekte vor uns aufführen, wenn aus dem einfachen Keim ein vielgestaltiges Tier entsteht. Sich immer wieder teilend und verdoppelnd wächst die Zahl der Tänzerinnen heran, bis sie auseinander tretend eine kleine Hohlkugel bilden. Sofort beginnt an einem Pol der Kugel wie auf ein neues Signal ein neuer Tanz. Die Tänzerinnen schwenken hier nach innen ein, bis sie, ohne die Reihen zu lösen, die stillestehenden Schwestern erreicht haben. Nun bilden sie gemeinsam eine doppelwandige, an einem Pol geöffnete Hohlkugel. Inzwischen haben sich auf ein weiteres Signal die Zellen um den offenen Pol zu teilen begonnen, und die hier neu entstandenen Tänzerinnen schweben und schieben sich zwischen die beiden Reihen der älteren Schwestern, so daß die Kugel jetzt drei Wände erhält.

Nun streckt und gliedert sich die Kugel. Die Tänzerinnen der äußeren Wand formen sich zu den Anlagen der Haut und des Nervensystems, die der mittleren liefern die Anlagen für Muskeln, Knochen und Blutgefäße, und die der inneren formen sich zu den Verdauungsorganen mit ihren Anhangsdrüsen.

Sicher Raum und Zeit beherrschend ver-

schlingen und entwirren sich die wundersamen Figuren des Tanzes. Keine äußere Ursache gibt ihnen Ziel und Richtung. Der Tanz ist selbst unmittelbarer Ausdruck seiner Gesetzmäßigkeit. Nicht hinter, vor oder außerhalb der Erscheinung haben wir des Rätsels Lösung zu suchen, sondern in der Erscheinung selbst. Die Gestaltung der Teile und ihre Bindung nach Raum und Zeit ist selbst Natur. Wie der Sinn die Worte im Satz unsichtbar und doch unlöslich bindet, wie eine Melodie im Lied zum Leben erwacht, so erschöpft sich der Sinn der Natur in ihrer Schöpfung.

Freilich ist es nicht die ganze Natur, sondern nur ein flüchtiger Lichtstreif, den wir aber nicht durch Begriffe verdunkeln, sondern in der Anschauung genießen sollen.

Zur Unterstützung des Verständnisses dieses so schwer faßbaren, weil der Zeit nach gegliederten Vorganges diene beiliegendes Schema. Die aufeinander folgenden Perioden sind durch gestrichelte Linien voneinander getrennt. Alles, was innerhalb zweier gestrichelter Linien geschieht, geschieht gleichzeitig.

In der ersten Periode ist der Keim eine aus gleichartigen Zellen bestehende Kugel. In der zweiten Periode sehen wir die Anlage der drei Keimblätter als drei selbständige Knospen (in Wirklichkeit sind es drei ineinander geschachtelte Knospen). Die dritte Periode weist die vielfach übereinander gekreuzten Knospen der Organanlagen auf. In der vierten Periode sehen wir, wie die ausgebildete Gestalt aus verschiedenen miteinander verwachsenen ausgebildeten Organen (die andeutungsweise gegeben sind) besteht. Nach oben zu endet sie als Fuge der Sinnesorgane, nach unten als Zapfen der Wirkungsorgane. Die Knospengeneration des inneren Kernblattes ist fortgelassen.

Bevor das Körpergefüge entstanden ist, führen die Zellen der einzelnen Knospen ihren eigenen Reigen auf nach dem Reigengesetz ihrer Knospe, ganz unbekümmert um die Nachbarknospen. Denn keine materielle Macht bindet die Knospen zu einer Einheit. Noch ist der Mechanismus des entstehenden Subjektes nicht entstanden. Noch beherrscht kein zentrales Nervensystem die Bewegungen der Zellsubjekte. Noch folgt die einzelne Tänzerin unmittelbar dem Winke der Natur.

Wie in einem Orchester jeder einzelne Künstler vertrauensvoll Note um Note von seinem Blatt abspielt, weil er weiß, daß das kleine Gesetz, dem er gehorcht, im großen Ganzen einheitlich verwoben ist, so folgt jede tanzende Zelle den in ihr auftauchenden Impulsen mit blinder Hingabe und ermöglicht dadurch die Ausbildung eines in sich geschlossenen Mechanismus von unvergleichlicher Vollkommenheit.

Solange ein Orchester aus lauter Geigen besteht, können die Musiker ihre Noten austauschen. Auch wenn ein jeder dabei eine an-



dere Partitur erhält, wird trotzdem ein normales Zusammenspiel möglich sein. Unmöglich wird aber der Tausch, wenn außer den Geigen auch andere Instrumente auftreten. Dann können die Musiker mit den fremden Partituren nichts anfangen.

In den Zellen des formbildenden Keimes sind keine Noten neben den Instrumenten vorhanden. Noten sind ja bloß Zeichen eines Befehls, und diesen erhält das lebende Instrument direkt durch den Impuls. Trotzdem wäre es für unser Verständnis der Vorgänge sehr nützlich, die verschiedenen Befehle an die verschiedenen Instrumente in Notenschrift festzulegen, um auf diese Weise den Zusammenhang der Impulse zu übersehen und eine Anschauung ihrer Gesetzmäßigkeit zu erhalten.

Ganz besonders interessant wäre es, die Partitur zweier ineinander eingepaßter Lebewesen wie etwa Hummel und Löwenmaul miteinander zu vergleichen, die schließlich in der gleichen Harmonie zusammenklingen, wenn die Hummel sich aus der Blume den Honig holt und die Blume den geflügelten Freund als Liebesboten benutzt.

Ein großer gewaltiger Zusammenhang tritt uns überall in der Natur als „wissende Wirklichkeit“ entgegen, die der Chinese einfach den „Sinn“ (Tao) nennt und ahnungsvoll verehrt. Plato sah in jedem Lebewesen außer seiner dem leiblichen Auge sichtbaren Gestalt das nur dem inneren Auge Sichtbare, die „Idee“, die die Römer als „Genius“ verehrten. K. E. von Baer lehrte uns auf die Melodie lauschen, die die Keimesgestaltung zum Ziel der Ausbildung des Körpers führt. Auch nannte er die Lebewesen die „Gedanken der Natur“.

All das sind Umschreibungen für eine Wirklichkeit, die sich nicht in Begriffe fassen läßt und der man sich nur durch äußerste Anspannung der Anschauung ahnungsvoll und stückweise nähern kann.

Aber ein jeder, der unbefangen nur das Walten der Natur suchend, den Blick langsam am Stamm entlang bis zur Krone eines Baumes gleiten läßt, wird eine Gesetzmäßigkeit empfinden, die hier Gestalt gewonnen hat und die sich am besten in Musik wiedergeben läßt. Wer wird nicht bei den Liedern: „O Tannenbaum“ und „Da draußen vor dem Tore da steht ein Lindenbaum“ das Gesetz der beiden Bäume anklingen hören?

Wenn wir in diesem Zusammenhang von einem Gesetz des Baumes reden, so meinen wir dasselbe wie die Griechen, wenn sie sagten: „Eine Dryas lebt in jedem Baum.“ Ihnen war das Gesetz nicht eine begriffliche Fiktion, sondern eine aus der Anschauung erzeugte Harmonie, der sie in einer menschlichen Gestalt einen allen verständlichen Ausdruck verliehen.

Bei den Tieren ist das Gesetz nicht so deutlich erkennbar wie bei den Pflanzen. Bei den Tieren steht der Mechanismus des Körpers mit

seiner unseren Maschinen ähnelnden Zwangsläufigkeit im Vordergrund. Wir übersehen nur allzu leicht, daß auch hier über dem Mechanismus herrschend das Naturgesetz steht — der Plan. Es genügt nicht, den Herrschaftsbereich des Nervensystems im Tierkörper zu überschauen, man muß auch ein Auge für das Gesetz haben, das das Nervensystem in seine Herrschaft eingesetzt hat und es darin erhält.

Nicht in der Gestalt, sondern in der Gestaltung spiegelt sich die Natur.

### Die Pflanzen.

Der sinnverwirrende Anblick, den die Tausende von Tierwelten darbieten, beruht hauptsächlich auf der Unmöglichkeit, irgendwo einen ruhenden Punkt zu finden. Alles ist dauernd in atemberaubender Bewegung begriffen. In nie abbreißender Folge greifen überall neu auftretende Merkmale ein und lösen im Tier einen Funktionskreis nach dem anderen aus. Selbst in denjenigen Seifenblasen, die nur wenige Merkmale beherbergen, sind diese stets von neuem in Tätigkeit.

Immer wieder muß der Organismus des Tieres seine Organe spielen lassen, um allen Anforderungen der Umwelt gerecht zu werden. Bald ist das Tier der Verfolger, bald der Verfolgte. Aber immer ist es aktiv tätig und verbrennt dabei die Stoffe, die es in mühsamer Kleinarbeit seiner Verdauungszellen der schwer erworbenen Nahrung abgerungen hat.

Ganz anders ist der Anblick des Pflanzenreichs. Das überschnelle Hasten hat einer wohlthuenden Ruhe Platz gemacht. Zwar schweigt auch hier, solange die Pflanze grünt, die Arbeit keinen Augenblick. Ein ununterbrochener Flüssigkeitsstrom, der durch die Wurzeln eintritt, steigt den Stamm empor und verzweigt sich nach allen Richtungen, um aus den Blättern in wohlabgemessener Weise zu verdunsten. Der Strom trägt die dem Boden entnommenen Nahrungssalze allen Geweben zu, die sie zu Körperstoffen verarbeiten.

Im Laboratorium des Blattgrünes wird mit Hilfe der Sonnenwärme der wichtigste Baustein, der Kohlenstoff, gewonnen. Alles das vollzieht sich durch die Kleinarbeit der lebenden Zellen, die wie im Tierkörper selbständige Subjekte bleiben und planmäßig durch Reiz- und Stoffübertragung im Verbands tätig sind. Aber die ganze Pflanze kennt den Funktionskreis nicht. Nur ganz ausnahmsweise tritt ein Merkmal auf, um eine bestimmte Bewegung zu veranlassen (wie bei der Mimose). Die Hauptaufgabe löst die Pflanze durch passive Hingabe an die Wirkungen ihrer Umwelt, in die sie eingepaßt ist.

Da die Pflanze sich nicht vom Platze rühren kann, muß sie sich mit allen äußeren Wirkungen, die sich an ihrem Standort bemerkbar machen, auseinander setzen. Das wirksamste Hilfsmittel

der Tiere, um ihr Leben zu fristen — die Flucht — ist der Pflanze versagt.

Wie die Häuser der Menschen, die ebenfalls unbeweglich sind, in ihrem äußeren Habitus sogleich ihren Standort verraten — denn je nachdem, ob Schnee, Regen, Sturm oder Sonnenbrand das Haus bedrohen, müssen die Dächer und Fenster anders gebaut werden —, ebenso zeigen die Pflanzen in ihrer Gestalt ohne weiteres an, ob sie sich gegen Trockenheit oder Wasser, gegen Lichtüberfülle oder Lichtmangel zu wehren haben.

Da die Pflanzen aber nicht tote Gehäuse sind, sondern ununterbrochen ihr Leben fristen müssen, erkennen wir in ihnen einen Lebensrhythmus, der dem Wechsel der Jahreszeiten parallel geht. So werfen unsere Laubbäume im Herbst die Blätter ab und verwandeln sich in Trockenpflanzen, um die Zeiten, da die Vereisung des Bodens ihnen die Feuchtigkeit entzieht, überstehen zu können.

Der innere Rhythmus der Pflanzen ist aber noch viel intimer dem Wechsel des Jahres angepaßt, denn es hat sich gezeigt, daß unser Obst in Treibhäusern am besten gedeiht, wenn man die Bäume dem normalen Kälterückfall zur Zeit der Blüte aussetzt.

Wenn ein Botaniker eine Pflanze betrachtet, so offenbart sie ihm sogleich in der Form und der Stellung ihrer Blätter eine Menge von Fugen, die genau in die Zapfen der Wirkungen ihres Standortes eingepaßt sind. Die große Mannigfaltigkeit der Pflanzen des gleichen Standortes gewährt ihm sogleich einen Einblick in die Mannigfaltigkeit der Mittel, die der Natur zur Verfügung stehen, um den gleichen Erfolg zu erzielen, und eine eingehendere Beobachtung belehrt ihn ferner darüber, wie die gleiche Einrichtung verschiedenen Ansprüchen genügen kann. So dient die Verzweigung der Adern des Ahornblattes der vollkommenen Ausbreitung der Saftwege, zugleich aber bilden sie die Trüfeln für den Regen.

Vor Eintritt des Winters fallen die Blätter des Ahorns. Dann bietet er das Bild einer Trockenpflanze, die ihre Verdunstung auf das äußerste eingeschränkt hat. Zugleich ist das lichte Astwerk dem Schneebruch sehr viel weniger ausgesetzt als der belaubte Baum.

Die Verwandlungen, die wir an den Pflanzen beobachten, gleichen nicht dem Getriebe eines festen Gefüges, sondern sind Formhandlungen, die dauernd das Gefüge umgestalten, um es in die Wirkungen des Standortes einzupassen.

Die Breite der Umgestaltungsmöglichkeit ist bei verschiedenen Pflanzen eine verschiedene, aber immer eine begrenzte. Darum gehen immer zahllose Keime zugrunde, wenn der Samen weit hin zerstreut wird. Trotzdem ist die genaue Einpassung einer jeden Pflanze an bestimmte Standorte unzweifelhaft.

Am gleichen Standort werden die gleichen

Wirkungen der Außenwelt von verschiedenen Pflanzen sehr verschieden verwertet, indem bald diese, bald jene Wirkungen unterdrückt, bald genutzt werden. So bildet auch jede Pflanze eine Umwelt um sich aus, die aber nicht in Merkwelt und Wirkungswelt geschieden ist, sondern in eine Nutzwelt und Trutzwelt zerfällt.

Auch die Pflanze bildet einen Weltmittelpunkt, in dem sie sich als Subjekt zu behaupten sucht, wie das Tier.

Die Formhandlungen der Pflanze zeigen die Impulsmelodie deutlicher als die Tiere. Ihre Beziehungen zur leblosen Welt sind dabei viel enger geknüpft und füllen den größten Teil der Umwelt aus. Die sichere Trennung in Nutzwelt und Trutzwelt läßt keinen Zweifel darüber bestehen, daß der Plan der Pflanze auch die leblosen Stoffe mit umfaßt. Das Körpergefüge des Subjektes wird vom Plan direkt beherrscht, durch den es dauernd umgestaltet wird. Die leblosen Stoffe aber werden vom Körpergefüge in einer Weise verwertet, die geradezu eine Allwissenheit der chemischen und physikalischen Gesetze verrät.

Der Mechanismus des Pflanzenkörpers wird von lebenden Zellsubjekten in Tätigkeit erhalten, während die abgestorbenen Zellen das tote Maschinenwerk darstellen.

Daß die einzelnen Zellsubjekte nicht die Erzeuger des Planes sind, der sich im Körpergefüge ausspricht, kann leicht bewiesen werden, wenn man einen Weidenast abschneidet und in die Erde steckt. Auf welche Zellsubjekte auch immer das Los fallen mag, mit der Erde in Berührung zu kommen, sie werden ihren alten Dienst einstellen und Wurzeln treiben. Sie gehorchen dann neuen Impulsen, die eine neue Pflanze entstehen lassen. Überall sind es die Impulse, die den Zellsubjekten ihr Wirkzeichen aufprägen und ihnen dadurch die Tätigkeit vorschreiben.

Die Impulse selbst sind deutlich in bestimmten Impulsmelodien vereinigt, die den Bauplan der Pflanze zur Erscheinung bringen. So beherrscht die Planmäßigkeit der Natur auch die Wechselwirkung zwischen Pflanze und leblosem Stoff, wie sie die Wechselwirkung zwischen Tier und Tier, und Tier und Pflanze beherrscht.

#### *Die leblosen Dinge.*

Nachdem wir, die allbeherrschende Planmäßigkeit der Natur in ihrer Wirkung auf die Beziehungen zwischen den lebenden Wesen untereinander und zu den leblosen Dingen erkannt haben, erhebt sich die Frage, ob auch die leblosen Dinge untereinander durch jene Planmäßigkeit verknüpft sind.

Um diese Frage zu entscheiden, wenden wir auch hier die Weltmittelpunktmethode an, die uns bisher soviel Aufklärung verschafft hat.

Längst ist das Verhalten des Magneten auf diese Weise dargestellt worden. Ein magne-



tisches Feld (das man besser eine Welt nennen sollte, weil es dreidimensional ist) umgibt jeden Magneten und sondert die in ihm befindlichen Dinge in magnetische, diamagnetische und unmagnetische, d. h. als vom Standpunkt des Magneten nicht vorhandene.

Neuerdings umgibt man jeden Körper mit einem seiner Masse entsprechenden Schwerfeld und einem Wärmefeld. Das hat zu einer hochbedeutsamen Entdeckung des Berliner Physikers *Fricke* geführt, der nachweisen konnte, daß die Eigenwärme der Himmelskörper, soweit sie meßbar ist, genau ihrer Masse entspricht. Schwerfeld und Wärmefeld stehen in festen Beziehungen zueinander.

Daraus schließt *Fricke*, daß der Äther, in dem sich die Himmelskörper bewegen, das große Kräfte-reservoir darstellt, das immer in Tätigkeit tritt, wenn ein Massenkörper sich in ihm befindet. Masse bildet nach ihm eine Stelle niederen Druckes im Äther und daher gehen allseitig Schwerewellen auf den Massenkörper zu. Je größer seine Masse ist, um so größer wird sein aus den Schwerewellen gebildetes Schwerfeld. Die Schwerewellen durchdringen mit Leichtigkeit die festen Körper auf der Oberfläche jedes Himmelskörpers. Ihn selbst aber vermögen sie nicht zu durchdringen, sondern verwandeln sich in einem bestimmten Abstand von seiner Oberfläche in Wärme, die dann von seiner Oberfläche wieder in den Äther allseitig zurückstrahlt, so sein Wärmefeld bildend. Im Äther wird die Wärme wieder in Spannung übergeführt.

Nach dieser Auffassung haben wir kein Verlöschen der Sonne zu befürchten, denn es bildet sich ein vollkommenes perpetuum mobile aus.

Die Planeten kreisen in dem riesigen Schwerfeld der Sonne und vorteilen von ihrem Wärmefeld.

Um die Gegenstände auf der Erdoberfläche vermögen wir nur deshalb kein Schwerfeld zu entdecken, weil es vom großen Schwerfeld der Erde verdeckt wird. Prinzipiell ist aber jeder Massenkörper von einem Schwere- und Wärmefeld umgeben, die seine Umwelt bilden, in die er verfugt und verzapft ist.

Die so angewandte Weltmittelpunktmethode ist auch äußerst fruchtbar, wenn man sie auf die Moleküle und Atome der Stoffe anwendet. Dann zeigt jeder dieser kleinsten Weltmittelpunkte in seinen chemischen Valenzen Fugen und Zapfen, um sich bei Gelegenheit mit passenden Zapfen und Fugen anderer Stoffe zu vereinigen.

Durch die Entdeckung des periodischen Systems ist ein großartiges Naturgesetz enthüllt worden, das sämtliche Wirkmale der anorganischen Natur zu einer planmäßigen Einheit verbindet und jeden Zufall ausschließt.

Das Gesetz von der Erhaltung der Energie, das alle Kraft- und Stoffumwandlung beherrscht, krönte die Erkenntnis, daß allem physikalischen

Weltgeschehen ein einheitlicher Plan zugrunde liegt.

Durch die Erkenntnis dieser großartigen Natureinheit, die an allen Orten und zu allen Zeiten die gleiche blieb, war man so geblendet, daß man sich im Wahne verding, hier die einzige Natureinheit vor sich zu haben, der auch alle Lebewesen restlos unterliegen müßten.

Man übersah, daß man in den chemischen, physikalischen und mechanischen Gesetzen nur mit den Vorbedingungen zu tun hatte, die das Auftreten der Lebensgesetze erst möglich machen.

Man glaubte im Rahmen von Raum und Zeit und in den Gesetzen der Stoffe, die doch bloß die Farben der Weltpalette bilden, bereits die Erklärung gefunden zu haben für die Bilder, die aus ihnen entstehen.

Die Biologie hat uns eines besseren belehrt, indem sie uns zeigt, daß die physikalisch-chemischen Gesetze nur die Vorstufen der eigentlichen Lebensgesetze darstellen, die mit souveräner Sicherheit Stoffe und Kräfte zu neuen Weltmittelpunkten — den Subjekten — zusammenfassen und ihnen eine wohlabgegrenzte Umwelt verleihen, in der die Pflanzen vorwiegend ein passives, die Tiere ein aktives Dasein führen.

Erst dann werden wir unsere Stellung der Natur gegenüber richtig verstehen, wenn wir einsehen, daß das Naturgesetz unseres eigenen Subjektes, das nicht bloß unseren Körper, sondern auch unsere gesamte Umwelt beherrscht, nur ein Faden aus Tausenden ist, die das Gewebe der Natur zu einer grandiosen Einheit verbinden.

Jetzt werden wir auch begreifen lernen, warum Merkwelt und Wirkungswelt zueinander passen müssen, weil sie der Ausdruck des gleichen Naturbefehls sind, dem wir unser Dasein verdanken.

Wenn mich jemand zweifelnd fragt: „Wie kann es möglich sein, daß mein kleines Subjekt mit seiner hinfälligen Umwelt sein Gesetz dem Sirius diktieren soll, der im unendlichen Raum in unerhörter Größe und Ferne seit Äonen prangt und strahlt?“, so werde ich ihm antworten: „Ziehe aus dem so unendlich scheinenden Raume deine Merkzeichen für Orte und Richtung“ heraus, und der ganze Raum wird zusammenfallen wie ein Kartenhaus. Und entziehe dem Sirius deine Momentzeichen, so ist sein Dasein plötzlich abgeschnitten.“

Alles das gilt natürlich nur für dich und deine Welt. Die Natur wird auch ohne dich Welten zu schaffen wissen. Es gibt keine unendliche, ewige und absolute Welt, die alle Subjekte umschließt — dafür aber eine unerhört gewaltige Natur, die Subjekte mit Welten, Räumen und Zeiten schafft nach ihrem eigenen freien Gesetz. Sie braucht sich selbst nicht anzuschauen, denn sie ist ein sich selbst gehorchender Befehl.

Wir freilich vermögen nur das zu sehen, was die Natur für uns sichtbar gemacht hat. Aber das, was wir sehen, ist unverfälschte Natur, so-

lange wir nicht unser kleines Ich der Naturbetrachtung hindernd in den Weg stellen und unsere kleinen Tagesmeinungen zu Weltgesetzen erheben, anstatt unsere eigenen Erkenntnisse in ehrlichem Streben einzugliedern in das allumfassende Geschehen.

Die blaue Seifenblase, die uns umgibt, wenn wir vom Bord des Dampfers sehnsüchtig hinaus schauen, zeigt uns die Grenzen unseres Subjektes. Wenn sie eines Tages zerspringt, wird unser Subjekt in anderer Form das sein, was die Natur befiehlt.

## Der Streit um das Elektron.

Von R. Bär, Zürich.

### I. Die Arbeiten von Millikan und Ehrenhaft.

§ 1. Die Leser der „Naturwissenschaften“ sind schon zweimal durch längere Aufsätze über den Streit um das Elektron, der sich nun schon mehr als zehn Jahre hinzieht, unterrichtet worden. Das erste Mal hat im Jahre 1917 Prof. W. König<sup>1)</sup> eingehend *alle* Argumente besprochen, die sich zu jenem Zeitpunkte für und wider die Existenz des Elektrons anführen ließen. Er gelangte zwar zu keinem abschließenden Urteil, doch schien ihm das damals vorhandene Tatsachenmaterial eher für als gegen das Vorhandensein des Elektrons zu sprechen. Der zweite Bericht von Dr. D. Konstantinowsky<sup>2)</sup>, der aus dem Lager der gegen das Elektron gerichteten Partei stammte, war eine zusammenfassende Darstellung der von Ehrenhaft und seinen Mitarbeitern an submikroskopischen Partikeln gewonnenen Versuchsergebnisse. Der Zweck des vorliegenden Aufsatzes ist es, die Weiterentwicklung dieses Streites nach 1917 zu besprechen. Das Fazit sei vorweggenommen: Nach der Ansicht des Verf. ist *der Streit jetzt endgültig entschieden, die Existenz des Elektrons ist vollständig gesichert*, und es geben sämtliche bis jetzt angestellten Versuche nicht den geringsten Anhaltspunkt für das Vorkommen von Elektrizitätsmengen, die kleiner sind als die Elektronenladung.

Worum dreht sich nun dieser eigentümliche wissenschaftliche Streit, und welche Argumente kann jede der beiden Parteien für ihren Standpunkt anführen? Um dies nochmals auseinanderzusetzen, müssen wir zuerst darstellen, welche Vorstellung man sich heute vom Wesen der Elektrizität zu machen hat. In ihrer übergroßen Mehrzahl sind die Physiker der Ansicht, daß die Elektrizität genau wie die chemischen Elemente aus Atomen, d. h. kleinsten unteilbaren und untereinander vollkommen identischen Bausteinen besteht. Diese Auffassung vom Wesen der Elektrizität, die nun schon über 40 Jahre alt ist, rührt her von Stoney und von Helmholtz; von ersterem stammt auch der Name

„Elektron“, mit dem heute das Atom der negativen Elektrizität bezeichnet wird. Das Elektron ist also der Träger der kleinsten in der Natur vorkommenden negativen Elektrizitätsmenge, deren numerischer Wert nach den neuesten Messungen  $4,774 \cdot 10^{-10}$  elst. E. beträgt. Die Masse des Elektrons ist, verglichen mit der Masse der chemischen Atome, verschwindend klein, nämlich nur ca.  $\frac{1}{1800}$  der Masse des leichtesten chemischen Atoms, des Wasserstoffatoms (Masse des Elektrons =  $9,03 \cdot 10^{-24}$  gr, Masse des H-Atoms =  $1,66 \cdot 10^{-24}$  gr). Von der positiven Elektrizität ist im Gegensatz zur negativen kein ihr eigentümliches beinahe masseloses Atom bekannt. Man muß vielmehr annehmen, daß Träger der positiven Elektrizität ein jeder Atomkern ist, d. h. derjenige innerste Teil des Atoms, in dem die Masse des ganzen Atoms lokalisiert ist. Man stellt sich nämlich vor — diese Ansicht hat besonders durch die Bohrsche Atomtheorie eine feste Gestalt gewonnen —, daß jedes chemische Atom aus einem zentralen, positiv geladenen Kern besteht und aus einer Wolke ihn umkreisender negativer Elektronen. Im Normalzustand ist das Atom elektrisch neutral. Zum Träger positiver Elektrizität wird es erst, wenn ein oder mehrere Elektronen aus dem Atomverband entfernt worden sind. In letzterem Falle wirkt nach außen der Überschuß der positiven Ladung des Kernes über die negative Ladung der noch vorhandenen, ihn umgebenden Elektronen. Dies ist aber eine Elektrizitätsmenge, welche dem absoluten Betrage nach gleich und dem Vorzeichen nach entgegengesetzt ist der Ladung des Elektrons bzw., wenn mehrere Elektronen fehlen, einem kleinen Vielfachen dieser Ladung. Man sieht: wenn diese Vorstellung vom Wesen der Elektrizität richtig ist, so kann die positive und die negative Elektrizität — gleichviel, ob sie in Gasen, in Flüssigkeiten oder in festen Körpern vorkommt — immer nur in Vielfachen des Elementarquantums der Größe  $4,774 \cdot 10^{-10}$  elst. E. auftreten, und die Frage einer ev. Existenz von sog. Subelektronen, d. h. Elektrizitätsmengen, die kleiner sind als das Elementarquantum, ist für die Physik deswegen von kapitaler Bedeutung, weil die Elektrizität gleichzeitig der Stoff ist, aus dem alle chemischen Atome aufgebaut sind.

Den Ausgangspunkt für die Vorstellung von der atomistischen Struktur der Elektrizität gaben die Faradayschen Gesetze der Elektrolyse, denen die Annahme einer atomistischen Struktur der chemischen Elemente zugrunde liegt. Nur unter dieser Voraussetzung, daß nämlich die einzelnen Atome eines Elementes vollkommen identisch seien und daher auch dieselbe Elektrizitätsmenge tragen, war es möglich, von einem elektrischen Elementarquantum zu sprechen und dessen numerischen Wert abzuschätzen. Man maß z. B. die Strommenge, die in einer bestimmten Zeit durch ein Silbervoltameter floß, und dividierte sie

<sup>1)</sup> W. König, Naturw. 5, 373, 1917.

<sup>2)</sup> D. Konstantinowsky, Naturw. 6, 429, 1918.



durch die Anzahl der Silberatome, die diese Strommenge befördert hatten. (Diese letztere Zahl kann man leicht berechnen, wenn man die Avogadrosche Zahl = Anzahl der Atome in einem Grammatom kennt — was allerdings mit einiger Genauigkeit erst seit wenigen Jahren der Fall ist — und die an der Kathode des Voltameters abgeschiedene Silbermenge durch Wägung bestimmt.) Bei dieser Division der Elektrizitätsmenge durch die Anzahl der Elektrizitätsträger erhält man aber nur dann den wirklichen Wert der Ladung, die jedes einzelne Atom getragen hat, wenn sämtliche Atome die nämliche Elektrizitätsmenge befördert haben. Wenn die einzelnen Atome verschiedene Elektrizitätsmengen tragen, so liefert unsere Rechnung nur einen *Mittelwert* für die Ladung des einzelnen Elektrizitätsträgers oder Ions. In diesem Falle hätte also das elektrische Elementarquantum, die Elektronenladung, keine reale Bedeutung, sie wäre nur ein Durchschnittswert, von dem Abweichungen in beliebiger Größe nach oben und nach unten denkbar wären.

Wir haben nur diese eine Methode zur Bestimmung des elektrischen Elementarquantums angeführt, aber der Einwand, den man gegen sie erheben kann, gilt ebenso für alle anderen Methoden, die bis zum Jahre 1909 bekannt waren. Infolgedessen bedeutete es einen enormen Fortschritt, als in diesem Jahre *F. Ehrenhaft* und *R. A. Millikan* unabhängig voneinander eine neue, derart empfindliche Methode zur Messung kleinster elektrischer Ladungen ersannen, daß man nun die Möglichkeit hatte, Elektrizitätsmengen von der Größenordnung der Elektronenladung einzeln, und zwar auf Promille genau zu bestimmen. Mußte schon jede neue Möglichkeit, die Ladung des Elektrons zu messen, von größter Bedeutung sein, da das elektrische Elementarquantum eine der fundamentalsten Konstanten der ganzen Physik bildet, so besaß diese Methode noch vor allen anderen den riesigen Vorteil, endlich die Möglichkeit der Entscheidung zu geben, ob die Elektronenladung überhaupt eine universelle Konstante oder ob sie nur einen statistischen Mittelwert darstellt. Diese Frage wäre zwar heute — wo einerseits die Bohrsche Atomtheorie ihre Triumphe feiert und andererseits die Rutherford'schen Arbeiten über die Atomkernzerschiebung und die Aston'schen über Isotopie vorliegen — für die meisten Physiker auch dann in dem ersteren Sinne entschieden, wenn der Streit um die Existenz des Elektrons noch nicht jene für das Elektron günstige Wendung genommen hätte, über die wir zu berichten haben. Vor 12 Jahren aber war die Möglichkeit, daß die Elektronenladung nur statistische Bedeutung habe, noch nicht durchaus von der Hand zu weisen.

§ 2. *Die Millikan-Ehrenhaft'sche Methode zur Messung kleinster Elektrizitätsmengen.* Worin besteht nun jene neue Methode der Bestimmung des elektrischen Elementarquantums? Wir wollen uns mit einer kurzen Darstellung des

Prinzips begnügen. Besitzt ein Körper eine elektrische Ladung, so zeigt sich dies darin, daß auf denselben, wenn er in ein elektrisches Feld gebracht wird, eine Kraft wirkt, die ihn in der Richtung der Kraftlinien zu bewegen sucht, und zwar berechnet sich, wenn  $e$  die elektrische Ladung und  $\mathcal{E}$  die Feldstärke bezeichnet, die Kraft  $\mathfrak{L}$  aus:

$$\mathfrak{L} = e \mathcal{E} \dots \dots \dots (1)$$

Nun wollen wir aber einzelne Ladungen in der ungefähren Größe von  $5 \cdot 10^{-10}$  elst. E., also ganz ungeheuer kleine Elektrizitätsmengen, messen. Wenn wir uns mit kleinen elektrischen Feldstärken begnügen — die Verwendung starker Felder würde auf die größten technischen Schwierigkeiten stoßen —, so sehen wir aus (1), daß auch die zu messenden Kräfte ungeheuer klein werden, so klein, daß sie selbst mit der empfindlichsten Drehwaage nicht mehr zu messen sind. Damit eine so kleine Kraft auf einen Körper noch eine meßbare Wirkung ausübt, muß auch der Körper selbst möglichst klein sein. Wir müssen also die zu messenden kleinsten Elektrizitätsmengen auch auf die kleinsten Körper bringen, mit denen der Physiker noch arbeiten kann. Diese kleinsten Körper sind nun die submikroskopischen Partikeln, also Teilchen, über deren wirkliche Gestalt uns auch das beste Mikroskop keine Auskunft mehr geben kann, weil ihre Größe jenseits der Grenze des mikroskopischen Auflösungsvermögens liegt. Dagegen kann man solche Partikeln noch im Ultramikroskop mit Hilfe der sog. Dunkelfeldbeleuchtung — aber nicht in ihrer wirklichen Gestalt — sichtbar machen. Dabei wird das Teilchen senkrecht zur Richtung der Beleuchtung beobachtet; dann kann kein Licht direkt von der Lichtquelle in das Auge des Beobachters gelangen, sondern nur solches Licht, das durch Beugung am Teilchen aus seiner ursprünglichen Richtung um  $90^\circ$  abgelenkt wird. Man sieht also das Partikel nun als scheinbaren Selbstleuchter auf dunklem Hintergrund. Die Wirksamkeit der Dunkelfeldbeleuchtung zur Sichtbarmachung kleinster Partikeln kennt übrigens jeder aus eigener Erfahrung. Fällt nämlich ein Lichtstrahl durch einen Spalt in ein dunkles Zimmer, so sehen wir die von ihm getroffenen, immer in der Luft vorhandenen kleinen Staubeilchen, während sie bei direkter Beleuchtung unsichtbar bleiben. Im Laboratorium kann man durch Dunkelfeldbeleuchtung, wenn man nur unter Verwendung einer geeigneten Optik eine möglichst große Lichtmenge auf einen kleinen Raum konzentriert, noch Teilchen bis herab zu etwa  $1 \cdot 10^{-6}$  cm Radius sichtbar machen.

Die Ehrenhaft-Millikan'sche Methode besteht nun darin, solche kleine Partikeln von  $10^{-4}$  —  $10^{-6}$  cm Radius, die frei in der Luft schweben und ultramikroskopisch beobachtet werden, elektrisch aufzuladen und dann die Größe dieser elektrischen Ladungen zu bestimmen. Um die Größe einer solchen Ladung messen zu kön-

nen, muß man zuerst die Masse des Teilchens bestimmen. Bei mikroskopischer Beobachtung kann man aus der Größe des mikroskopischen Bildes direkt die Größe des Gegenstandes berechnen; beim Ultramikroskop ist dieser Weg ungangbar, weil ja das ultramikroskopische Bild uns gar nicht die wahre Gestalt des Objekts zeigt. Infolgedessen muß man zur Größenbestimmung submikroskopischer Partikeln andere Methoden verwenden; wir erläutern vorerst nur die wichtigste, bei welcher die Masse des Teilchens aus seiner Fallgeschwindigkeit berechnet wird. Ein solches submikroskopisches Teilchen fällt nämlich vermöge seiner Schwere langsam zu Boden, und zwar mit einer konstanten Geschwindigkeit  $v_1$ , die proportional ist der auf das Teilchen wirkenden Kraft, d. h. dem Gewicht  $m g$  ( $m$  = Masse des Teilchens,  $g$  = Erdbeschleunigung). Es gilt daher die Gleichung:

$$m g \cdot B = v_1, \dots \dots \dots (2)$$

wo  $B$  ein Proportionalitätsfaktor ist, den man die „Beweglichkeit“ des Partikels nennt. Setzen wir noch voraus, daß das Teilchen Kugelgestalt habe und bezeichnen wir seinen Radius mit  $a$  und seine Dichte mit  $\sigma$ , so wird  $m = \frac{4}{3} \pi a^3 \sigma$ , und wir erhalten an Stelle von (2) die Gleichung:

$$\frac{4}{3} \pi a^3 \sigma g B = v_1, \dots \dots \dots (2')$$

Nehmen wir vor der Hand an, daß uns die Größe  $B$  bekannt sei. Dann können wir  $m g$  bestimmen, indem wir die Fallgeschwindigkeit des Teilchens messen. Um hierauf auch die auf dem Teilchen sitzende elektrische Ladung  $e$  zu bestimmen, erzeugen wir in dem Raume, wo sich dasselbe befindet, ein senkrecht nach oben gerichtetes elektrisches Feld von der Stärke  $\mathcal{E}$ . Dann wirkt auf das Teilchen vertikal nach oben die elektrische Kraft  $e \mathcal{E}$ , nach unten das Gewicht  $m g$ . Ist die elektrische Kraft größer als das Teilchengewicht, so bewegt sich dasselbe nach oben mit einer Geschwindigkeit  $v_2$ , die proportional der wirkenden Kraft  $e \mathcal{E} - m g$  ist. Es gilt daher:

$$(e \mathcal{E} - m g) B = v_2, \dots \dots \dots (3)$$

aus welcher Gleichung wir  $e$  berechnen können, wenn wir die Steiggeschwindigkeit  $v_2$  und das zugehörige elektrische Feld  $\mathcal{E}$  messen. Hiermit haben wir die neue Methode zur Ladungsbestimmung im Prinzip dargestellt. Die praktische Ausführung derselben ist folgende: Man bringt ein kleines Partikel in eine Beobachtungskammer, beleuchtet es von der Seite mit einer Bogenlampe und mißt seine Fall- und seine Steiggeschwindigkeit, indem man es von vorn durch ein Mikroskop oder Fernrohr beobachtet. Den Boden und die Decke der Beobachtungskammer bilden zwei genau horizontal justierte Metallplatten; die Kammer stellt also gleichzeitig einen elektrischen Plattenkondensator dar, zwischen dessen Platten man durch Anlegen einer elektrischen Potentialdifferenz von  $V$  Volt, die mit einem Voltmeter

gemessen wird, ein elektrisches Feld erzeugen kann, dessen Stärke in abs. Einh.

$$\mathcal{E} = \frac{V}{300 d}$$

ist, wenn  $d$  den Abstand der Kondensatorplatten in cm bedeutet.

Was noch den Wert des Faktors  $B$  anlangt, so ergab sich aus einer Reihe von theoretischen und experimentellen Arbeiten dafür der Ausdruck:

$$B = \frac{1 + A \frac{l}{a}}{6 \pi \mu a} \dots \dots \dots (4)$$

In dieser Gleichung bedeuten  $l$  die mittlere freie Weglänge der Moleküle des Gases, in dem sich das Teilchen bewegt, und  $\mu$  den Koeffizienten der innern Reibung des betreffenden Gases. Die Größe  $A$  endlich ist ein Zahlenfaktor, dessen numerischer Wert noch abhängt von dem verwendeten Teilchenmaterial und dem Gas, in dem die Untersuchung ausgeführt wird. Setzen wir den Ausdruck (4) für  $B$  in Gleichung (2') ein, so erhalten wir:

$$\frac{4}{3} \pi a^3 \sigma g = \frac{6 \pi \mu a v_1}{1 + A \frac{l}{a}} \dots \dots \dots (5)$$

In dieser Gleichung kommen zwei Unbekannte vor: nämlich der Radius  $a$  des Partikels und dessen Dichte  $\sigma$ . *Ehrenhaft* und *Millikan* machen nun die Annahme, daß die von ihnen verwendeten Teilchen dieselbe Dichte haben wie das Material, aus welchem sie hergestellt wurden, und sie verwenden die Gleichung (5), um daraus durch Messung der Fallgeschwindigkeit  $v_1$  den Radius  $a$  und hiermit auch die Masse des Teilchens zu berechnen. Hierauf findet man die Ladung  $e$  des Teilchens aus (3), indem man dessen Steiggeschwindigkeit  $v_2$  im elektrischen Feld  $\mathcal{E}$  mißt.

Damit haben wir die Ehrenhaft-Millikansche Methode der Ladungsbestimmung in ihren Grundzügen skizziert. Wir stellen nun nochmals die wesentlichen Voraussetzungen der Methode zusammen, da wir dieselben im Folgenden auf ihre Stichhaltigkeit prüfen müssen:

1. Die Partikeln sind kugelförmig.
2. Ihre Dichte ist diejenige des kompakten Materials, aus dem sie hergestellt wurden.
3. Für die Bewegung der Partikeln im Erdschwerefeld und im elektrischen Feld gelten die Gleichungen (2), (3) und (4).

Wir fragen nun: Welches ist die kleinste elektrische Ladung, die sich mit dieser Methode noch messen läßt? Aus den Gleichungen (2) und (3) erhalten wir durch Elimination von  $B$  die Gleichung:

$$e = \frac{m g}{\mathcal{E}} \left( \frac{v_2}{v_1} + 1 \right) = \frac{4}{3} \pi \frac{a^3 \sigma g}{\mathcal{E}} \left( \frac{v_2}{v_1} + 1 \right) \dots \dots \dots (6)$$

Da es uns zur Ermittlung der Empfindlichkeit der Methode nur um die Größenordnung zu tun



ist, so setzen wir in unserer Überschlagsrechnung  $\frac{r_2}{r_1} = 1$ ,  $\sigma = 5$  und nehmen als kleinsten Teilchenradius, den wir noch mit dem Ultramikroskop beobachten können,  $a = 2 \cdot 10^{-6}$  cm. Rechnen wir ferner mit einer maximalen Feldstärke von  $\mathcal{E} = 20$  elst. E., so erhalten wir  $e = 1,6 \cdot 10^{-14}$  elst. E. als Größenordnung für die kleinste noch eben meßbare Elektrizitätsmenge. Die Methode ist also in der Tat hervorragend geeignet zur Entscheidung der Frage, ob das mit andern Methoden nur als statistischer Mittelwert sich ergebende elektrische Elementarquantum  $\varepsilon = 4,774 \cdot 10^{-10}$  elst. E. wirklich die kleinste in der Natur vorkommende Elektrizitätsmenge ist oder nicht, denn es können evtl. mit dieser Methode noch Ladungen gemessen werden, die nur  $\frac{1}{30\,000}$  dieser Größe betragen. Eine Vorstellung von der großen Feinheit und Empfindlichkeit der Ehrenhaft-Millikanschen Methode liefert auch folgende Überlegung: Bei dieser Methode wird zuerst aus der Fallgeschwindigkeit das Gewicht und dann durch Vergleich dieser Geschwindigkeit mit derjenigen in einem elektrischen Feld bekannter Stärke die Ladung des Teilchens bestimmt. Es wird also wie auf einer Wage das Verhältnis zweier Kräfte gemessen. Ein Maß für die Feinheit einer Wage ist nun ihre Empfindlichkeit, d. h. das kleinste Gewicht, das sich noch mit ihr bestimmen läßt. In unserem Falle ist dieses kleinste Gewicht das erwähnte kleinste Teilchen, an dem noch Messungen ausführbar sind. Seine Masse beträgt ca.  $2 \cdot 10^{-16}$  gr, gegenüber einer Empfindlichkeit von ca.  $10^{-8}$ — $10^{-9}$  gr bei den feinsten chemischen Wagen.

§ 3. *Die Methoden zur elektrischen Aufladung der Partikeln.* Wir müssen noch kurz die verschiedenen Möglichkeiten erwähnen, die man hat, um den zu untersuchenden Teilchen eine elektrische Ladung zu erteilen. Je nach der verwendeten Methode ist nämlich der Ursprung der auf das Teilchen übertragenen Elektrizität ein ganz verschiedener. Man hat es also durch Veränderung der Aufladungsweise in der Hand, Elektrizitätsmengen der verschiedensten Herkunft auf ihre quantenhafte Struktur zu prüfen.

Die erste Methode besteht darin, daß man das Gas, in welchem sich das zu beobachtende Teilchen befindet, durch Röntgen- oder  $\gamma$ -Strahlen eines radioaktiven Präparates ionisiert, d. h. aus den neutralen Gasatomen negative Elektrizität abspaltet. Von den so im Gas entstehenden Elektrizitätsträgern oder Ionen werden sich nun eine Anzahl auf dem zu untersuchenden Teilchen festsetzen, es trägt dasselbe dann eine elektrische Ladung, die gleich ist der Differenz der von dem Teilchen abgefangenen positiven und negativen aus den Gasmolekülen stammenden Elektrizitätsmengen. Sind nun diese einzelnen Elektrizitätsmengen alle von derselben absoluten Größe, nämlich von der Größe der Elektronen-

ladung, so muß auch die Ladung des Teilchens ein Vielfaches dieser Grundladung sein, und umgekehrt kann man, wenn wir auf dem Teilchen nur Vielfache dieser Grundladung finden, daraus schließen, daß die Moleküle des betreffenden Gases die Elektrizität nur in Quanten von der Größe der Elementarladung enthalten. Da wir diese Versuche in den verschiedensten Gasen anstellen können, so haben wir dadurch die Möglichkeit, die Elektrizität, die aus allen jenen Gasmolekülen stammt, zu untersuchen.

Eine weitere Methode der elektrischen Aufladung der Partikeln besteht in der Bestrahlung derselben mit ultravioletttem Licht. Nicht nur die  $\gamma$ -Strahlen, sondern auch die Lichtstrahlen, und zwar namentlich die ultravioletten, besitzen nämlich die Fähigkeit, aus manchen Körpern negative Elektrizität abspalten zu können (sog. lichtelektrischer Effekt). Man kann also Partikeln, die aus einem solchen lichtelektrisch empfindlichen Material bestehen, mit positiver Elektrizität laden, indem man durch Bestrahlung derselben mit ultravioletttem Licht negative Elektrizität aus ihnen absprengt. Dadurch hat man die Möglichkeit, auch die Elektrizität, die in den Atomen solcher Körper enthalten ist, auf ihre quantenhafte Struktur zu prüfen.

Schließlich muß noch erwähnt werden, daß die namentlich von Ehrenhaft und seiner Schule verwendeten Metallpartikeln, die durch Zerstäubung oder Verdampfung des betreffenden Metalls im elektrischen Lichtbogen erzeugt werden, schon von Hause aus geladen sind.

§ 4. *Versuchsergebnisse.* Was nun die Versuchsergebnisse anbelangt, so begann bald ein unüberbrückbarer Widerspruch zwischen den Ergebnissen der Arbeiten Millikans und Ehrenhafts zu klaffen, ein Widerspruch, der unbegreiflicherweise nur immer größer wurde, je mehr die beiden Forscher die Methodik verbesserten, d. h. je größer die Meßgenauigkeit ihrer Resultate wurde. Aus den Versuchen Millikans, der mit Ölpartikeln von einigen  $10^{-4}$  cm Radius arbeitete, denen die elektrische Ladung durch Ionisation der Luft erteilt wurde, folgte mit Sicherheit, daß die Ladungen sämtlicher Partikeln genaue Vielfache einer unteilbaren Grundladung, dem elektrischen Elementarquantum waren. Für letzteres fand Millikan als Resultat jahrelanger, mit höchster Präzision durchgeführter Untersuchungen, die deswegen berechnete Berühmtheit erlangten, den Wert  $4,774 \cdot 10^{-10}$  elst. E., mit einem möglichen Fehler von 5 Einheiten in der letzten Dezimale. Weitere Versuche von Millikan und seiner Schule sowie von Schidlof in Genf und dessen Mitarbeitern wurden an Ölteilchen in Stickstoff und in Wasserstoff sowie an Quecksilberpartikeln in Luft und in Stickstoff ausgeführt. Obgleich diese weiteren Ladungsbestimmungen nicht mit derselben Genauigkeit durchgeführt werden konnten, so bilden sie doch

eine überaus wichtige Ergänzung der Millikanschen Präzisionsmessungen; denn sie ergaben innerhalb der Beobachtungsfehler wieder denselben Wert für die Elektronenladung, trotzdem die gemessenen Elektrizitätsmengen nun aus diesen drei verschiedenen Gasen, aus Öl und aus Quecksilber herstammten.

Damit wäre die atomistische Struktur der Elektrizität sichergestellt und die Größe des unteilbaren Elektrizitätsatoms bestimmt gewesen, wenn nicht die Messungen *Ehrenhafts* und seiner Schule ein davon abweichendes Ergebnis gehabt hätten. *Ehrenhaft* ging von der dem Verf. nicht recht verständlichen Meinung aus, daß man um so kleinere Elektrizitätsmengen beobachten werde, je kleiner die zur Messung gelangenden Partikeln seien. Sein Bestreben ging daher von Anfang an dahin, durch Verwendung einer hochaperturigen Beleuchtungs- und Beobachtungsoptik möglichst kleine Teilchen sichtbar und damit der Messung zugänglich zu machen. Seine Teilchen haben daher einen Radius bis herab zu wenigen  $10^{-6}$  cm; sie haben also eine bis zu tausendmal kleinere Masse als die kleinsten Millikanschen Partikeln. Dabei ergab sich nun in der Tat das unerklärliche Versuchsergebnis: Je kleiner die beobachteten Teilchen waren, desto kleiner waren auch die gemessenen Ladungen. Während *Ehrenhaft* seine erste Mitteilung aus dem Jahre 1909 noch betitelte „Eine Methode zur Bestimmung des elektrischen Elementarquantums“, lautet seine zweite Veröffentlichung aus dem Jahre 1910 schon „Über die Messung von Elektrizitätsmengen, die die Ladung des Elektrons zu unterschreiten scheinen“, und in den folgenden Untersuchungen, die infolge der sukzessiven an der Apparatur angebrachten Verbesserungen an immer kleineren Teilchen ausgeführt werden konnten, wurden immer kleinere Elektrizitätsmengen gemessen. Die kleinsten dieser elektrischen Ladungen wurden von Frl. *Parankiewicz* an Quecksilberteilen beobachtet; sie erreichen Beträge bis herab zu  $3 \cdot 10^{-13}$  elst. E., also bis zum  $\frac{1}{2000}$  Teil des Millikanschen Elementarquantums. Es zeigten diese Messungen auch nicht eine Spur mehr von der quantenhaften Struktur der Elektrizität. Alle Ladungen über und unter  $4,8 \cdot 10^{-10}$  elst. E. traten gleich häufig auf, und es lag nach der Meinung *Ehrenhafts* lediglich an der Unmöglichkeit, noch kleinere Teilchen untersuchen zu können, daß nicht noch viel kleinere Elektrizitätsmengen zur Messung gelangen.

Damit war ein höchst unerfreulicher Zustand geschaffen. Sollte der Physiker nun die ganze Elektronentheorie, die ihm täglich unentbehrlicher wurde, über Bord werfen? Dazu hätte er sich natürlich nicht ohne die allerzwingendsten Gründe entschließen können, um so mehr als dann die Millikanschen Versuchsergebnisse vollkommen unerklärlich geblieben wären. Man suchte also nach möglichen Fehlern bei der *Ehrenhaftschen* Ladungsmessung. Es wurden die ver-

schiedensten Vermutungen, die wir hier nicht erwähnen können, geäußert. Große, scheinbare Unterschreitungen der Elektronenladung konnten wohl nur dadurch entstehen, daß eine oder gar mehrere der oben von uns erwähnten drei Voraussetzungen dieser Methode der Ladungsmessung bei den *Ehrenhaftschen* Versuchen nicht erfüllt sind. Man wird dem entgegen halten, daß den Millikanschen Messungen dieselben Voraussetzungen zugrunde liegen und daß dann auch diese hinfällig werden. Dieser Einwand ist aber nicht berechtigt, wie man leicht einsieht, wenn man sich die charakteristischen Verschiedenheiten der beiden Meßmethoden vergegenwärtigt.

Was zunächst die Kugelform der Partikeln anbelangt, so steht sie bei den Millikanschen Ölpartikeln, die durch mechanisches Zerstäuben von Öl erzeugt wurden, außer Frage, und dasselbe gilt für die Quecksilberpartikeln, die hergestellt wurden durch Verdampfen von Quecksilber, das sich dann in der Luft zu kleinen Tröpfchen kondensierte. Ebenso wenig kann man annehmen, daß die Dichte solcher Partikeln wesentlich verschieden ist von der des Materials, aus dem sie hergestellt wurden. Anders ist die Sachlage bei *Ehrenhaft*. Von den durch Zerstäuben oder Verdampfen im elektrischen Lichtbogen hergestellten Edelmetallpartikeln kann man von vornherein durchaus nicht wissen, ob sie Kugelform besitzen und auch ihre Dichte kann, da wir über die Vorgänge bei ihrer Erzeugung kein klares Bild haben, eine andere sein als die des molaren Materials. Auf die besondern Verhältnisse bei den *Ehrenhaftschen* Quecksilberteilen werden wir am Schlusse dieses Aufsatzes noch zu sprechen kommen.

Was schließlich die dritte Voraussetzung, das zugrunde gelegte Fallgesetz (4) anbelangt, so sagten wir schon, daß darin nur die Konstante  $A$  unsicher ist. Daher ist es wesentlich, daß die Millikanschen Teilchen einen 10- bis 100mal größeren Radius haben als die *Ehrenhaftschen*, da infolge dessen das Glied  $A \frac{l}{a}$  im Fallgesetz bei *Millikan* 10- bis 100mal kleiner wird als bei *Ehrenhaft*, so daß der Mangel der Kenntnis des genauen Wertes dieser Konstanten bei den Millikanschen Messungen lange nicht so sehr ins Gewicht fällt wie bei den *Ehrenhaftschen*.

§ 5. *Die Bemühungen Ehrenhafts zur Sicherstellung seiner Versuchsergebnisse.* Es muß erwähnt werden, daß *Ehrenhaft* auf allen erdenklichen Wegen versuchte, die gegen seine Messungen erhobenen Bedenken zu entkräften. Um die Gestalt seiner Partikeln zu prüfen, stellte er Mikrophotographien her, aus denen man die Form der Teilchen bis herab zu einem Radius von vielleicht  $2 \cdot 10^{-5}$  cm noch recht deutlich erkennen kann. Man muß zugeben, daß diese Partikeln sehr annähernd Kugeln zu sein scheinen, aber *Ehrenhaft* stellte noch Ladungsmessungen an



wesentlich kleinern Teilchen an, und über diese sagen die Mikrophotographien nichts aus. Um den zweiten Einwand, daß nämlich die Teilchen nicht die Dichte des Ausgangsmaterials besitzen, zu zerstreuen, erzeugte und beobachtete *Ehrenhaft* seine Teilchen in sorgfältig getrockneten und gereinigten Gasen (Stickstoff und Argon), um so zu vermeiden, daß sich bei der Erzeugung der Teilchen in der hohen Temperatur des Lichtbogens irgendwelche chemischen Verbindungen des zerstäubten Materials mit dem umgebenden Gas bilden und dann statt des reinen Metalles zur Beobachtung gelangen.

Ferner hat *Ehrenhaft* eine weitere Methode der Größenbestimmung submikroskopischer Teilchen, die von der dritten Annahme, dem Fallgesetz, ganz unabhängig ist, ausgearbeitet. Danach wird die Teilchengröße ermittelt aus der Farbe des Partikels. Wird ein solches Teilchen nämlich mit weißem Licht bestrahlt, so beugt es die verschiedenen einfallenden Lichtwellen in verschieden starkem Maße ab, und zwar werden im allgemeinen die kleineren Lichtwellen von den kleineren Teilchen stärker abgelenkt als von den größeren. Infolgedessen erscheinen bei Dunkelfeldbeleuchtung die kleineren Teilchen in einer gegenüber den großen mehr nach dem Blau hin verschobenen Farbe. Eine exakte Theorie dieser Erscheinung stammt von *Mie*. Sie gestattet, wenn das Teilchenmaterial (bzw. dessen optische Konstanten) bekannt ist, theoretisch eine genaue Größenbestimmung jedes Partikels aus der Farbe, die dasselbe bei ultramikroskopischer Beobachtung zeigt. Gegen die praktische Verwendbarkeit der Methode sind aber eine Reihe von Einwänden erhoben worden, die wir bei der Besprechung der neueren Arbeiten erwähnen werden.

Von allen drei genannten Voraussetzungen unabhängig ist dagegen eine letzte Methode der Größenbestimmung, die auf der Brownschen Bewegung der Teilchen fußt. Bekanntlich führen diese kleinen Partikel in der Luft dauernd eine zitternde, ungerichtete Wimmelbewegung aus, die von den Stößen der Luftmoleküle herrührt, und deren Intensität durch das „mittlere, sekundliche Verschiebungsquadrat“ des Partikels gemessen wird. Letztere Größe läßt sich z. B. dadurch bestimmen, daß man die Zeit, die das Teilchen benötigt, um die Fallstrecke zu durchlaufen, sehr oft mißt und dann die Größe der Schwankungen dieser Fallzeiten um den Mittelwert berechnet. Nach einer von *Einstein* stammenden Formel kann man hieraus die Masse des Teilchens und damit auch seine Ladung bestimmen, ohne daß man irgendwelche Voraussetzungen über Gestalt oder Dichte des Partikels zu machen braucht. Diese Methode ist nur dann genau, wenn sehr viele Beobachtungen der Fallzeiten an einem und demselben Teilchen vorliegen, da nur dann die Schwankungen um den Mittelwert hinreichend exakt bestimmt werden können; aber es ist über-

aus bemerkenswert, daß sich nach dieser Berechnungsweise, innerhalb der allerdings meist sehr beträchtlichen Fehlergrenzen, noch nie Subelektronen haben feststellen lassen. *Ehrenhaft* glaubte nun gerade diese Methode, die von allen unsicheren Voraussetzungen frei ist, verwerfen zu müssen, weil sie ihm keine mit den anderen Berechnungsweisen übereinstimmenden Resultate lieferte.

Zusammenfassend läßt sich also etwa sagen, daß noch vor wenigen Jahren der Stand des Streites um das Elektron folgender war: Die meisten Physiker glaubten zwar nicht an die Realität der Subelektronen, aber die Versuche hinterließen doch zum mindesten ein unbehagliches Gefühl, weil es *Ehrenhaft* anscheinend gelungen war, die hauptsächlichsten Einwendungen gegen seine Experimente zu widerlegen, so daß niemand mit Sicherheit sagen konnte, welche Fehlerquellen eigentlich das Auftreten der Subelektronen verursachen sollten.

(Schluß folgt.)

## Besprechungen.

**Newcomb-Engelmans populäre Astronomie.** 6. Auflage. In Gemeinschaft mit den Herren Prof. Dr. *Eberhard*, Dr. *Freundlich* und Dr. *Kohlschütter* herausgegeben von Prof. Dr. H. *Ludendorff*, Direktor des astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam. Leipzig, Wilhelm Engelmann, 1921: Groß 8°. XII, 889 S. und 240 Abbildungen. Preis geh. M. 70,—; geb. M. 95,—.

Eine neue Auflage der Newcomb-Engelmanschen populären Astronomie ist ein Ereignis für die Astronomie, und die rasche Aufeinanderfolge der neueren Auflagen (die dritte erschien im Jahre 1905, die vierte 1911, die fünfte 1914) spricht mehr als jedes andere Zeugnis von der Beliebtheit, deren sich das Buch in den gewiß nicht sehr zahlreichen Kreisen der Fachastronomen wie auch in denen der Amateure erfreut. Eine Tatsache, die wieder als Beweis dafür angesehen werden kann, wie der Sinn für die rein wissenschaftlichen Bestrebungen der Astronomen allmählich weiter vordringt und die sonst vielfach in populären Büchern betriebene Konjekturnalastronomie verdrängt.

In Wahrheit ist das Werk ein Handbuch für das ganze Gebiet der Astrophysik, der gegenüber Fragen der Mechanik des Himmels oder der sogenannten theoretischen Astronomie ein wenig benachteiligt erscheinen, was den Wunsch nach einer gleich würdigen Vertretung auch dieses Zweiges der Astronomie in einer sich ebenso über das gewöhnliche Niveau erhebenden populären Darstellung auftreten läßt. Neben diesem Wunsche möchte Ref., der dieses Referat. auch mehr vom Standpunkte der wissenschaftlichen Leserkreise, die stets mehr an tatsächlichem Material wünschen, als von dem der Amateure zu erstatten gesonnen ist, noch den äußern, daß zu den vielen Entdeckungen und Forschungsergebnissen, die gerade die letzten Jahre mehr der Astrophysik als der Mechanik des Himmels gebracht haben, die entsprechenden Literaturnachweise hinzugefügt würden. Bei den trefflichen Ausführungen des Werkes im ganzen hat man nämlich zuweilen auch ein lebhaftes Interesse, im einzelnen etwas tiefer in die Probleme eindringen zu können. Aber dazu fehlen die

Angaben, die den nicht immer die ganze Literatur beherrschenden Leser auf die Originalabhandlungen der Forscher verweisen. Doch zunächst begnüge man sich mit dem Gebotenen und überlasse die Ausführung des Wunsches der Hoffnung auf eine bessere Zukunft (Deutschösterreich einbegriffen), die es gestatten würde, den Umfang des Buches noch um die dazu nötigen 2—3 Blätter zu vergrößern.

Fragen wir nunmehr, was das Buch in seinem neuen Gewande auch tatsächlich Neues von den Errungenschaften der letzten Jahre bringt, so finden wir an erster Stelle das Referat von Prof. *Freundlich* über die Grundgesetze der Mechanik und ihre Entwicklung seit *Newton*. Natürlich fehlt nicht da die besondere Rücksichtnahme auf das Relativitätsprinzip *Einsteins* und dessen darauf sich gründende Theorie der Gravitation. Daran schließt sich eine Darstellung des Problems der drei Körper an, die mit einem Berichte über die Arbeiten von *K. Sundmann* beginnt und bis zur Mondtheorie und einer Auseinandersetzung der in ihr auftretenden Schwierigkeiten heranreicht. Leider alle diese Fragen, der Tendenz des Buches entsprechend, in etwas gar zu gedrängter Form.

Weit ausführlicher können sich Dir. *Ludendorff* und Prof. *Eberhard* in ihren speziellen Gebieten ergehen, und man merkt ihnen fast die Freude an, mit der sie von den spannenden Entwicklungsphasen in unserer Kenntnis über die physische Konstitution der Sterne und die Gesetze ihrer Verteilung und Bewegung am Himmel erzählen und die neu gewonnenen Tatsachen teils in das alte System einzuordnen versuchen, teils die aus ihnen erschlossenen neuen Gesichtspunkte beleuchten. Vorerst sei über das Kapitel, die physische Beschaffenheit der Sterne, Bericht erstattet. Prof. *Eberhard* führt uns in ihm an der Hand der historischen Entwicklung von der ersten Teilung der Sterne in Spektraltypen nach *Secchi* und *Vogel* bis zu der heute anerkannten von *Pickering* in der ihr von *MiB Cannon* gegebenen Form. Wenn, wie angenommen wird, diese Verschiedenheit der Spektra nur eine Folge der Verschiedenheit der Temperaturen der Sterne ist, ist sie, so entsteht die Frage, eine Skala abnehmender oder nicht vielleicht zunehmender Temperaturen? Erst die Entdeckung der Riesen und Zwerge unter den Sternen brachte auf diese Frage die bedeutsame Antwort, indem sie lehrte, daß beide Reihen unter ihnen vorhanden sind und der Entwicklungsprozeß der Sterne nicht als Funktion einer einzigen Veränderlichen, als welche man bisher die Temperatur ansah, als vielmehr zweier, ihrer Dichte und Temperatur, anzunehmen sei. Die Nutzenanwendung dieses interessanten Ergebnisses auf das kosmogonische Problem der Fixsterne im Zusammenhang mit der Theorie von *Eddington* über den inneren Aufbau der Sterne und den kühnen Gedanken *Kapteyns* und den Studien von *Jeans* über die Entstehung des ganzen Milchstraßensystems gibt Prof. *Kohlschütter* in dem von dem *Eberhardschen* wohl räumlich getrennten, aber doch inhaltlich mit ihm verbundenen Schlußkapitel, Kosmogonie der Fixsterne. Wohl ist in dieser Frage, wie Prof. *Eberhard* mit Recht bemerkt, noch nicht alles geklärt, sind noch immer manche Schwierigkeiten vorhanden, immerhin hat es den Anschein, als ob durch diese neuen Tatsachen das Geheimnis der Entwicklung der Sterne sich allmählich zu lösen beginne und dieser Teil der Kosmogonie schon fast eine festere Grundlage besitze als der über die Entstehung des Sonnensystems.

Auch das Kapitel über Sternhaufen und Nebel-

flecke ist von ihm bearbeitet. Er spricht von der Teilung in offene und Kugelhaufen, von der Berechnung der Parallaxe der ersteren aus dem Vergleiche mit der *Kapteynschen* Luminositätskurve, ferner von den Gesetzen der Verteilung der Sterne in letzteren, für die sich dasselbe Gleichgewicht ergibt wie für einen Gasball im adiabatischen Gleichgewichtszustande. Er erklärt die *Shapleysche* Bestimmung der Helligkeit und des Farbenindex der Sterne in ihnen, die Beziehung zwischen ihrem scheinbaren Durchmesser und ihrer Helligkeit, woraus wieder unter der Annahme einer gleichen linearen Ausdehnung aller ihre Parallaxe mindestens der Größenordnung nach berechnet werden kann, ihre merkwürdige einseitige Verteilung am Himmel, die sich in einer Anhäufung in der galaktischen Länge von  $325^\circ$  ausspricht. Hierauf folgen Angaben über die Radialgeschwindigkeiten der Nebel nach den Beobachtungen von *Slipher*, die im allgemeinen bedeutend größer sind als die der Sterne und denen entsprechend ihnen eine besondere Stellung in dem Schema der stellaren Entwicklung zuzuweisen ist, ohne daß man jedoch heute entscheiden könnte, nach welcher Richtung hin diese Einordnung anzusetzen wäre.

Ebenso ausführlich und stets die neuesten Beobachtungsergebnisse schildernd sind die Bearbeitungen von Dir. *Ludendorff* über: die Bewegungen der Sterne, die Doppel- und die veränderlichen Sterne. Er gibt nach einem eingehenden Berichte über die Methoden zur Messung der Radialgeschwindigkeiten der Sterne Auskunft über die Bestimmung des Apex und des Vertex der Sternbewegungen nach der *Kapteynschen* Hypothese der zwei Schwärme, wie der Schwarzschildschen ellipsoidischen, wobei er mit Recht hinzufügt, daß keine für mehr gehalten zu werden für sich in Anspruch nehmen kann, als für eine Arbeitshypothese, die eine bessere Darstellung der Beobachtungen liefert als die allereinfachste Annahme der regellosen Verteilung der Spezialbewegungen der Sterne, daß das gleiche aber auch für die Versuche gilt, die Existenz von Heeresstraßen oder Vorzugsrichtungen in den Bewegungen der Sterne durch Zentralbewegungen zu erklären, die unter dem Einflusse des ganzen Sternkomplexes erfolgen. Die Ableitung des Apex aus den Radialgeschwindigkeiten gestattet eine Bestimmung der Größe der Sonnenbewegung im Raume. Merkwürdigerweise geben die Sterne der verschiedenen Spektralklassen diese verschiedene groß. Aus der Kenntnis des Apex und der Sonnengeschwindigkeit folgt wieder die absolute Radialgeschwindigkeit der Sterne. Auch diese zeigt eine ähnliche Abhängigkeit vom Spektraltypus sowie innerhalb der einzelnen Typen von der absoluten Helligkeit, und da diese der Masse proportional angenommen wird, schließlich von der Masse selbst. Es folgt daraus das interessante Resultat, daß die Sterne von größerer Masse sich im Durchschnitt langsamer bewegen als die kleineren, in dem man das Gesetz der gleichen Verteilung der Energie vermuten könnte, das so wie für die Moleküle in einem Gase auch für die Sterne im Universum gilt. Nachdem noch der *K-Effekt* kurz erwähnt wird, wendet sich Dir. *Ludendorff* zu seinem eigentlichen Arbeitsgebiet, den visuellen und spektroskopischen Doppelsternen und den Veränderlichen. Auch hier haben, wie der Bericht zeigt, die letzten Jahre manche seltsamen Ergebnisse zutage gebracht, die noch einer zureichenden Erklärung harren. Es seien erwähnt: die Variabilität der Gesamtamplitude der Doppelsterne, die Tatsache, daß bei einigen spektroskopischen nicht alle Spektrallinien die



durch die Bahnbewegung verursachte Verschiebung mitmachen, das Problem der Veränderlichen vom Typus  $\delta$  Cephei, das jetzt fast im Mittelpunkt der Diskussion steht, die Gruppe der kurzperiodischen Veränderlichen in den Kugelhäufen u. v. a.

In dem Abschnitt „neue Sterne“ kommt neuerdings Prof. *Freundlich* zu Wort und ist in der Lage, an der Hand der Beobachtungen der zwei in den letzten Jahren erschienenen Nova Aquilae (1918) und Nova Cygni (1920), die Fortschritte zu charakterisieren, die in dem Verständnis der sich bei ihnen abspielenden Vorgänge und damit in ihrer Erklärung gemacht wurden.

Nicht alles Wissenswerte, das in dem Buche enthalten ist, konnte in dem vorliegenden Referate berührt werden. Bei der Fülle an Tatsachenmaterial in ihm und den immerhin engen Grenzen des letzteren konnten nur einige Punkte erwähnt werden. Aber schon diese lassen erkennen, welche riesigen Fortschritte, wie wiederholt erwähnt, gerade die letzten Jahre der kombinierten Vereinigung von Spektroskopie, Photometrie und Photographie der Astronomie brachten und wie der Schleier des Geheimnisvollen, der noch über einigen Erscheinungen liegt, sich allmählich zu lüften beginnt.

S. Oppenheim, Wien.

**Chemiker-Kalender 1922.** Ein Hilfsbuch für Chemiker, Physiker, Mineralogen, Industrielle, Pharmazeuten, Hüttenmänner usw. — Begründet von *R. Biedermann*. Neubearbeitet von *W. Roth* (Braunschweig). 43. Jahrgang. Zwei Bände. (Schreibkalender, 19 u. 520 S. — 12 u. 624 S.) Berlin, Julius Springer, 1922. Preis M. 66,—.

Eine durchgreifende Umgestaltung des Chemiker-Kalenders, die früher in dieser Zeitschrift (8, 425; 1920 u. 9, 235; 1921) als recht wünschenswert bezeichnet wurde, konnte auch in diesem Jahre nicht durchgeführt werden; wohl aber ist im einzelnen mancherlei geändert, verbessert und erweitert worden. — Das Erscheinen der von der Deutschen Atomgewichtskommission herausgegebenen Atomgewichtstabelle für 1922 machte die teilweise Umrechnung aller jener Tabellen erforderlich, deren Werte mit den Atomgewichten zusammenhängen. Die Abschnitte über Atomistik (*Fajans*), Radiochemie (*Geiger*), Physiologische Chemie (*Rona*), Fette, Wachse usw. (*Lüdecke*) sind von ihren Verfassern durchgesehen und ergänzt worden. Der Herausgeber hat ein kurzes Kapitel über Kolloide eingefügt und die Brennmaterialien neu bearbeitet; außerdem hat er eine „Praktische Ecke“ eingerichtet, in der „Laboratoriumskniffe“ und dergleichen eine Stätte finden sollen. Sehr beachtenswert in diesem Jahrgang sind die „Technisch-chemischen Untersuchungen anorganischer Stoffe“, die Dr. *Rüsberg* (Mannheim) bearbeitet hat. In übersichtlicher Anordnung werden kurz und klar die Untersuchungsmethoden zahlreicher technisch wichtiger, anorganischer Rohstoffe, der Zwischen- und Endprodukte dargestellt, und zwar als Arbeitsanweisungen, in einer unmittelbar praktisch verwendbaren Form. Wer einmal erfahren hat, was für heterogene Dinge dem Chemiker in der Praxis zur Prüfung und Begutachtung in die Hände kommen, wird den Wert dieser knappen Belehrungen zu würdigen wissen.

J. Koppel, Berlin-Pankow.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Zur Frage der Lokalisation von Schallquellen.

Über das Problem der Lokalisation von Schallquellen hat *Hecht* auf S. 107 dieses Jahrgangs der „Naturwissenschaften“ einen interessanten Aufsatz veröffentlicht, der zu einigen Bemerkungen Anlaß gibt.

1. Es ist von einer großen Zahl von Beobachtern festgestellt worden, daß als primäres Merkmal zur Bestimmung der Richtung, aus der der Schall kommt, der Zeitunterschied zwischen den Empfindungen beider Ohren benutzt wird. Bei hohen Tönen, bei denen der Kopfschallschatten wirksam wird, meint *Hecht* aber auch der verschiedenen Intensität der beiden Schalleindrücke eine wesentliche Rolle zuschreiben zu sollen.

Es ist nun aber sehr wahrscheinlich, daß diese Intensitätsunterschiede auch als Zeitunterschiede wahrgenommen werden; man braucht nur die schöne Entdeckung von *Fertsch* und *Pulfrich*, die von letzterem auf dem Jenaer Physikertag 1921 vorgetragen wurde<sup>1)</sup>, vom Auge auf das Ohr zu übertragen. Diese optische Erscheinung besteht darin, daß ein bewegtes Objekt, das man mit beiden Augen anschaut, in ganz falscher Entfernung gesehen wird, wenn vor das eine Auge ein Rauchglas gehalten wird. Zur Erklärung greifen *Fertsch* und *Pulfrich* auf alte Exnenses Beobachtungen<sup>2)</sup> zurück, nach denen die vom Auge wahrgenommene Helligkeit eine gewisse Zeit braucht, um auf ihre volle Höhe zu kommen, und zwar eine um so längere Zeit, je lichtschwächer das Objekt ist. Daraus läßt sich schließen, daß auch die Zeit, die vergehen muß, bis überhaupt das Objekt wahrgenommen wird, um so größer ist, je geringer die Helligkeit des Objektes ist. Beobachtet man also einen bewegten Körper, während z. B. das rechte Auge durch ein Rauchglas verdeckt wird, so wird man den Körper mit dem rechten Auge auf einem etwas früheren Punkte seiner Bahn erblicken als mit dem linken; beim Zusammenwirken beider Augen entsteht dann nach Größe und Richtung die beobachtete stereoskopische Wirkung.

Auch beim Gehörssinn erfolgt die Wahrnehmung nicht momentan, sondern nach Ablauf einer um so längeren Zeit, je geringer die auftretende Lautstärke ist (*Urbantschitsch*<sup>3)</sup>); es müssen also Intensitätsunterschiede an beiden Ohren Zeitunterschiede der Wahrnehmung bedingen. Die beiden Möglichkeiten, eine Schallquelle zu lokalisieren, nämlich durch Zeitunterschiede oder Intensitätsunterschiede zwischen den Wahrnehmungen beider Ohren, sind also in Wahrheit gar nicht voneinander verschieden, da letzten Endes immer Zeitunterschiede maßgebend sind.

Diese Auffassung würde sich prüfen lassen, wenn es gelänge, die Urbantschitschschen Beobachtungen durch quantitative Messungen zu ergänzen. Dann ließe sich die Zeitdifferenz, die einem gegebenen Intensitätsverhältnis entspricht, bestimmen, und mit der Hechtschen Angabe, daß 10 % Intensitätsänderung einer Zeitdifferenz von  $3 \cdot 15^{-5}$  sek entspricht, vergleichen.

2. Die Entscheidung darüber, ob ein bestimmter Schall aus dem vorderen oder hinteren Halbraum

<sup>1)</sup> S. z. B. eine kurze, auf Originalmitteilungen *Pulfrichs* beruhende Darstellung in der Elektrot. ZS. 42, 1293, 1921.

<sup>2)</sup> Sitzungsbericht d. Akad. Wien, 2. Abt., 616, 1868.

<sup>3)</sup> Pflüg. Archiv 25, 323, 1881.

komme, soll, wie *Hecht* vermutet, dadurch ermöglicht sein, daß beim von vorn auftreffenden Schall auch die Gesichts- und Stirnknochen mitschwingen. Dieser Richtungseindruck müßte sich also auch experimentell erzeugen lassen, indem man z. B. beiden Ohren mittels Telefons einen Ton oder ein Geräusch zuführt und ein drittes Telefon auf die Stirn oder andere Schädelknochen aufsetzt. Der Versuch ergibt aber auch in diesem Fall einen von rückwärts kommenden Eindruck. Auch einige andere Beobachtungen scheinen mit der Hechtschen Annahme schwer vereinbar zu sein, z. B. die, daß beim Hören unter Wasser, wenn auch die äußeren Gehörgänge mit Wasser gefüllt sind, der Schall stets aus dem Hinterkopf zu kommen scheint. Wegen der größeren Schallhärte des Wassers müßte hier ein von vorn kommender Schall die Stirnknochen besonders stark in Mitschwingung versetzen.

Es scheint, daß man die Rolle der Ohrmuscheln bei dieser Frage durchaus nicht vernachlässigen darf. Wenn man beide Hände so vor die Ohren hält, daß die Hände eine nach hinten geöffnete Höhlung bilden, so wird eine vorn befindliche Schallquelle nach rückwärts verlegt. Schon dieser einfache Versuch zeigt, wie wesentlich die Ohrmuscheln bei der Lokalisation mitwirken; sie sind sicher auch dann in hohem Grade beteiligt, wenn der Schall nicht gerade in der Horizontalebene einfällt.

Berlin, den 23. Februar 1922.

H. Carsten. H. Salinger.

Auf die Bemerkungen der Herren *Carsten* und *Salinger* möchte ich das Folgende erwidern:

1. Für unterbrochene Reize folgt aus den optischen bzw. akustischen Versuchen von *Exner* bzw. *Urbanstschitsch*, daß einer geringeren Intensität eine größere Zeit der Wahrnehmung entspricht. Die von mir mitgeteilten Versuche sind aber absichtlich auch mit Dauertönen gemacht, um besonders das Gebiet des Anklingens der akustischen Empfindung auszuschalten.

2. Auch mir sind inzwischen einige Bedenken gekommen, die die Annahme über die Halbkreisbestimmung nicht mehr als sehr wahrscheinlich erscheinen lassen, wenn auch gerade der erwähnte Versuch mit einem zweiten Hörerpaar an den beiden Schläfen, der häufig die Schallquelle aus dem achteren in den vorderen Halbkreis verlegte, s. Zt. eine Hauptstütze für die betreffende Annahme bildete. Außer dem Versuch des Hörens unter Wasser, der mir allerdings noch nicht unbedingt der von mir ausgesprochenen Vermutung zu widersprechen scheint, und des Hörens mit künstlichen, nach hinten geöffneten Ohrmuscheln glaube ich selbst einen anderen, ebenso einfachen Versuch anführen zu können, der vielleicht in noch höherem Grade die gemachte Annahme widerlegt. Man kann ein Schallfeld, dessen Richtung binaural bestimmt werden soll, soweit schwächen, daß bei verschlossenen Ohren keine Schallwahrnehmung mehr vorhanden ist, und daß trotzdem bei geöffneten Ohren noch lokalisiert werden kann. Es scheint also, als ob der durch die Schädelknochen vermittelte Schalleindruck im Verhältnis zu dem durch den Ohrkanal erfolgenden Eindruck viel zu gering ist, um gegen den letzteren überhaupt in Betracht kommen zu können.

Vielleicht spielen die Ohrmuscheln, wie von *Carsten* und *Salinger* angenommen, aber nicht näher angegeben wird, bei dem Problem der Lokalisation eine wichtige Rolle. Es wäre jedenfalls sehr erwünscht, wenn diese Ausführungen zu einer Klärung der interessanten Frage anregen würden.

Kiel, den 18. März 1922.

H. Hecht.

## St. Johns und Babcocks Beobachtungen über die Rotverschiebung der Spektrallinien auf der Sonne.

In den Erörterungen über die Rotverschiebung, welche die allgemeine Relativitätstheorie verlangt, spielen Veröffentlichungen des bekannten Spektroskopikers *St. John* vom Mount Wilson aus den Kriegsjahren eine Rolle, und zwar werden sie meist als Beweis gegen das Dasein jener Verschiebung angeführt. Erst jetzt stellt sich die wissenschaftliche Verbindung mit Amerika wieder so weit her, daß man die letzte der einschlägigen Veröffentlichungen im Original einsehen kann. Sie ist erschienen im *Astrophysical Journal* Bd. 46, S. 138 (1917) und führt den Titel: „The elimination of the pole-effect from the source for secondary standards of wavelength, von *St. John* und *Babcock*“.

Mit einiger Überraschung sieht man aus ihr, daß es die Verfasser hier völlig vermeiden, auf die fragliche Forderung der Relativitätstheorie einzugehen. Was man aber aus ihren Zahlenangaben entnehmen kann, spricht weit eher für als gegen die Relativitätstheorie.

Es handelt sich um gewisse Linien des Eisens. Bei vielen von ihnen, von den Verfassern jetzt als instabil bezeichneten, waren die Messungen der Wellenlängen in der sechsten oder siebenten Dezimalen verfälscht durch Einflüsse, welche die Pole des Flammenbogens auf den Dampf in ihrer Nähe ausüben. *St. John* und *Babcock* schildern nun eine Neukonstruktion der Pole, welche solche Einflüsse jedenfalls weitgehend herabsetzt.

Die folgende Tabelle zeigt für zwei Gruppen instabiler Linien in Angströmeinheiten ( $10^{-8}$  cm) die Wellenlängendifferenz zwischen dem Sonnen- und dem irdischen Spektrum, und zwar in Spalte II nach den älteren, ungenauen, in Spalte III nach den neuen, vom Poleffekt befreiten Messungen des irdischen Spektrums; ein positives Vorzeichen bedeutet Rotverschiebung des Sonnenspektrums. Spalte I enthält die Wellenlängen selbst.

| I      | II     | III    | I                  | II     | III    |
|--------|--------|--------|--------------------|--------|--------|
| 5393   | -0,006 | +0,001 | 5364               | +0,021 | +0,011 |
| 5476   | ,004   | ,008   | 5367               | ,020   | ,008   |
| 5569   | ,002   | ,005   | 5372 <sup>1)</sup> | ,012   | ,008   |
| 5572   | ,002   | ,007   | 5383               | ,018   | ,006   |
| 5586   | ,006   | ,006   | 5404               | ,015   | ,006   |
| 5615   | ,000   | ,006   | 5410               | ,016   | ,012   |
| 5624   | ,008   | ,006   | 5415               | ,026   | ,005   |
| 5638   | -0,008 | +0,016 | 5424               | +0,028 | +0,008 |
| Mittel | -0,004 | +0,007 | Mittel             | +0,019 | +0,008 |

Bei 9 „stabilen“ Linien fanden die Verfasser schon früher die mittlere Verschiebung  $+0,008$  Å. Dividiert man nun dies  $\Delta\lambda$  durch die mittlere Wellenlänge  $\lambda = 5475$  Å, so ergibt sich eine relative Verschiebung

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 1,5 \cdot 10^{-6}$$

gegenüber der theoretischen Verschiebung von  $2 \cdot 10^{-6}$

Die Verfasser weisen ausdrücklich darauf hin, daß auch bei zahlreichen anderen Elementen die bisher an-

<sup>1)</sup> Im Original steht hier wohl irrtümlich 5364. Eine Arbeit derselben Autoren von 1921 nennt drei Eisenlinien 2370, 2371 und 2379, welche hier gemeint sein könnten.



genommenen Normalwerte ihrer Wellenlängen durch Poleffekte um ähnliche Beträge verfälscht sein dürften. Die Hauptschwierigkeit bei der Prüfung der Rotverschiebung scheint somit in der Unsicherheit über die normale Lage der irdischen Spektrallinien zu liegen.

Berlin, März 1922.

M. v. Laue und P. Pringsheim.

## Mitteilungen aus der technischen Optik.

**Einiges über Sehrohre.** Von H. Erfle, Bericht nach der Deutschen optischen Wochenschrift 1920, S. 136—139, 154—157, 171—173, mit einigen Zusätzen. Daß über diese im April 1920 erschienene Arbeit jetzt noch berichtet wird, mag dadurch gerechtfertigt erscheinen, daß später (Ende November 1921) A. Gleichen in den Transactions of the Optical Society 1921—22 (The path of rays in periscopes having an inverting system comprising two separated lenses) nochmals ganz ähnliche, wenn auch nicht so allgemeine Ergebnisse abgeleitet hat, wohl ohne die Vorgängerschaft von H. Erfle zu kennen.

In den „Naturwissenschaften“ 1919, 7, 805—810, 826—832, 942, hatte H. Erfle die Entwicklung des Sehrohres für Tauchboote dargestellt, ohne auf die Maßbeziehungen zwischen der optischen Leistung (Vergrößerung, Gesichtsfeld, Austrittspupille) und den Abmessungen (Länge, Durchmesser) eines Sehrohres einzugehen. Diese Maßbeziehungen sind dann in der hier zu referierenden Arbeit von H. Erfle nachgetragen worden. Am Schlusse dieses Berichtes werden die damals erhaltenen Ergebnisse noch verallgemeinert und dadurch auch auf andere optische Vorrichtungen anwendbar.

Wir nennen  $\alpha$  das (dingseitige) Gesichtsfeld,  $d$  den Durchmesser der Eintrittspupille,  $d'$  den Durchmesser der Austrittspupille. Besteht ein Sehrohr — oder sagen wir allgemein ein Erdfernrohr mit der Fernrohrvergrößerung  $V$  — aus einem Objektiv mit der Brennweite  $f_1$  ( $f_1$  sei positiv bei einer Sammellinse, negativ bei einer Zerstreuungslinse), einer bildumkehrenden Linsenfolge (abgekürzt als Umkehrlinse zu bezeichnen), die aus zwei Objektiven  $f_2$  und  $f_3$  zusammengesetzt ist und aus einem Okular mit der Brennweite  $f_4/V$ , dann gilt für die Länge  $L$ , die wir zunächst vom Objektscheitel bis zum Okularscheitel messen wollen, die am Schluß des Berichtes wiedergegebene Gl. (1), wenn der Abstand zwischen den beiden Hälften der Umkehrlinsenfolge  $k f_2$  beträgt. Wir haben also hier vorausgesetzt, daß die den Achsenpunkt (die Bildfeldmitte), abbildenden Strahlen zwischen diesen beiden Hälften parallel der Achse laufen; diese Strahlen kann man kurz als *Mittenstrahlen* bezeichnen im Gegensatz zu den Randstrahlen, die zu einem Randpunkt des Gesichtsfeldes gehören. Es wurde S. 138 eine Gleichung abgeleitet, die wir am Schlusse des Berichtes als Gl. (2) wiedergeben. In ihr bezeichnet  $D$  den Durchmesser der Umkehrlinse für die Mittenstrahlen und den Durchmesser der beiden Gesichtsfeldblenden im Fernrohr. Nimmt man den Durchmesser der Umkehrlinsen gleich diesem durch die Mittenstrahlen bestimmten Wert — dieser Fall kommt praktisch sehr häufig vor —, dann ist die Gleichung (2) gleichzeitig eine Beziehung für den Durchmesser der Umkehrlinse. Sind also  $V$ ,  $d$ ,  $L$  und  $\alpha$  gegeben, dann ist (2) eine quadratische Gleichung zur Berechnung des Umkehrlinsendurchmessers; man braucht dabei nur noch eine

Festsetzung zu treffen für den Zahlenwert  $k$  (zwischen 0 und 2!; siehe S. 139 links der Arbeit selbst), von dem die Größe der Austrittspupille für den Rand des Bildfeldes abhängt. Eine erste Näherung für (2) ist die am Schlusse des Berichtes wiedergegebene Gl. (2a), eine zweite Näherung (2b). Einzelheiten und eine Reihe von Zahlenbeispielen mit Angaben über die Zuverlässigkeit dieser beiden Näherungen mögen auf S. 138 und S. 139 der Arbeit selbst nachgelesen werden. Hier sei nur das wichtige Ergebnis hervorgehoben, daß nach (2a) und (3) der Durchmesser  $D$  proportional ist der Quadratwurzel des Produktes aus der Länge  $L$  und jeder der drei die optische Leistung bestimmenden Größen  $d'$ ,  $V$ ,  $\lg \left( \frac{\alpha}{2} \right)$ . Will man also bei gegebener Länge  $L$

mit einem gegebenen Durchmesser  $D$  für eine bestimmte Vergrößerung  $V$  das Gesichtsfeld  $\alpha$  vergrößern, dann kann dies nach (2a) und (3) nur auf Kosten der Eintrittspupille  $d$  und damit auch der Austrittspupille  $d'$  geschehen; bei diesem Vergleich ist für  $k$  ein und derselbe Wert angenommen worden.

Nimmt man überdies für das scheinbare Gesichtsfeld (zweckmäßig als Bildfeld des Okulars zu bezeichnen) des Erdfernrohres einen bestimmten Zahlenwert  $\alpha'$  an, dann folgt aus der für ein zeichnungsloses Fernrohr gültigen Gleichung (4) an Stelle von (2a) die Näherungsgleichung (2c), die unter der Wurzel

$d'$ ,  $L$  und  $\lg \left( \frac{\alpha'}{2} \right)$  als gleichberechtigte Faktoren enthält, deren jeder für vorgeschriebenen Durchmesser  $D$  nur vergrößert werden kann, wenn man mindestens einen der beiden andern Faktoren verkleinert; es sei denn, daß man  $k$  bis zu seinem Höchstwerte 2 vergrößern will. In diesem Grenzfall ( $k=2$ ) füllt das Hauptstrahlenbündel jede der beiden Umkehrlinsenhälften vollständig aus, so daß am Rand des Bildfeldes die Fläche der Austrittspupille zu Null geworden ist.

In § 4 (S. 154—156) ist das Sehrohr mit verjüngtem Oberteil und mit Vergrößerungswechsel behandelt worden. Dabei ist — um die Betrachtung möglichst allgemein gelten zu lassen — als Länge des Objektivs statt  $f_1$  gesetzt worden  $m f_1$ , weil häufig einfache verkittete Objektive nicht genügen. Der Durchmesser der beiden Umkehrlinsenteile sei wieder  $D$ , ebenso der Durchmesser der unteren Gesichtsfeldblende. Die bildumkehrende Linsenfolge soll nicht mehr wie vorhin die Vergrößerung  $-1$  haben, sondern, aus den Brennweiten

$f_0$  und  $f_2$  zusammengesetzt, die Vergrößerung  $-\frac{f_2}{f_0}$  ergeben, die Vergrößerung nicht aus  $-f_2/f_0$  zu ermitteln, auf der Mittenstrahlen zwischen den Bestandteilen der Umkehrlinsenfolge angenommen, da ja im allgemeinen Falle, auf den wir am Schluß dieses Berichtes eingehen, die Vergrößerung nicht aus  $-f_2/f_0$  zu ermitteln wäre. Es ist S. 155, Gl. (12) (siehe dazu noch die dortige Anmerkung 16) eine Beziehung zwischen  $D$ ,  $\delta$ ,  $m$ ,  $d$ ,  $L$ ,  $\alpha$  abgeleitet worden, die wir am Schlusse als (5) und (5a) wiedergeben. (Es ist nunmehr  $L_1$  statt  $L$  geschrieben worden, weil  $L_1$  erst nach Addition der Okularbrennweite mit  $L$  übereinstimmt.) Wie (5a) zeigt, ist die Okularlänge bei  $L_1$  diesmal weggelassen worden, da sie für eine angenäherte Betrachtung bei großer Länge  $L$  nicht wesentlich ist. Die Gl. (5) ist linear in  $\delta$ , quadratisch in  $D$ ; wenn die optische Leistung durch  $V$ ,  $d$  ( $=d'V$ ),  $\alpha$  vorgeschrieben ist, kann für jede gegebene Länge  $L_1$  die Beziehung zwischen  $D$  und  $\delta$  ermittelt werden, wenn man in (5)

bestimmte Annahmen über  $k$  und  $m$  macht. Für weitere Einzelheiten sei auf S. 155 der Arbeit selbst verwiesen.

Von Interesse für ein Erdfernrohr mit mehrfacher Bildumkehrung durch Linsen ist noch die auf S. 132 angegebene Formel für die Länge  $L_{US}$  einer dreifach umkehrenden Linsenfolge, deren drei Umkehrlinsen einteilig sein sollen, d. h. keinen endlichen Abstand zwischen ihren Bestandteilen enthalten sollen. Wenn wie bisher die Eintrittspupille  $d$  das Gesichtsfeld  $\alpha$  ist, gilt die am Schlusse als (6) wiedergegebene Gleichung, in der  $d_I$ ,  $d_{II}$ ,  $d_{III}$ ,  $d_{IV}$  die Durchmesser der Gesichtsfeldblenden und  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  die Durchmesser der drei Umkehrlinsen sind. Diese drei Umkehrlinsen bilden also der Reihe nach ab:  $d_I$  in  $d_{II}$ ,  $d_{II}$  in  $d_{III}$ ,  $d_{III}$  in  $d_{IV}$ ; die Umkehrlinsen sollen — ähnlich wie in den vorhin referierten Beispielen einer Umkehrlinsenfolge — auch hier gerade von dem Mittenstrahlenbündel ausgefüllt werden. Es ist selbstverständlich, daß für die Regelung des Hauptstrahlenverlaufs gesorgt wird durch Anordnung von Feldlinsen in oder nahe den Blenden  $d_I$ ,  $d_{II}$ ,  $d_{III}$ ,  $d_{IV}$ . (Zur Erläuterung diene die Figur am Schlusse dieses Berichts, in der allerdings statt einfacher Umkehrlinsen jeweils Umkehrzweilinsen gesetzt worden sind.)

Als unmittelbare Folge aus den Ergebnissen der damaligen Veröffentlichung (1920) seien hier noch einige Verallgemeinerungen nachgetragen. Zunächst fällt es auf, daß (2) quadratisch in  $D$  ist, während in dem zunächst schwieriger erscheinenden Falle, der zur Gl. (5) führt, die Gl. (5) in  $\delta$  nur linear ist. Gl. (5) ist in  $D$  allerdings quadratisch geblieben. Um gleich eine ganz allgemeine Beziehung zu erhalten, sei nunmehr die Voraussetzung, daß die beiden Linsen der Umkehrzweilinse den gleichen Durchmesser haben wie die zweite Gesichtsfeldblende, aufgegeben. Die Bezeichnung *Umkehrzweilinse* soll dabei, wie leicht ersichtlich ist, ausdrücken, daß die Umkehrlinse aus zwei Linsen mit endlichem Abstände besteht, die aber bei unserer nunmehr ganz allgemeinen Betrachtung nicht mehr der Bedingung zu genügen brauchen, daß zwischen ihnen die Mittenstrahlen achsenparallel verlaufen. Es sollen also jetzt alle Durchmesser  $D_0$ ,  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_U$  voneinander verschieden sein und der Reihe nach bezeichnen:  $D_0$  den Durchmesser der ersten Gesichtsfeldblende (in der Brennebene des Objektivs  $f_1$ ),  $D_1$  und  $D_2$  die Durchmesser der beiden Teile der Umkehrzweilinse,  $D_U$  den Durchmesser der zweiten Gesichtsfeldblende, so daß die Vergrößerung durch die Umkehrzweilinse gegeben ist als:  $-D_U/D_0$ . Selbstverständlich können wir dann von diesem allgemeinen Fall aus jederzeit wieder zu den bisher behandelten Sonderfällen übergehen. Wenn wir wieder annehmen, daß die Linsendurchmesser  $D_1$  und  $D_2$  von den Mittenstrahlen vollständig ausgefüllt werden, wenn wir ferner den Abstand von  $D_0$  bis  $D_1$  mit  $a$ , den von  $D_1$  bis  $D_2$  mit  $b$ , den von  $D_2$  bis  $D_U$  mit  $c$  bezeichnen, dann folgt aus den Gleichungen:

$$f_1 = \frac{D_0}{2 \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha}{2} \right)}, \quad f_{OkI} = \frac{D_U}{2 \nu \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha}{2} \right)},$$

daß

$$a = f_1 \cdot \frac{D_1}{d} \quad \text{und} \quad c = f_{OkI} \cdot \frac{D_2}{d} = \frac{D_2 \cdot D_U}{2 d_1 \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha}{2} \right)}$$

Wählen wir als Linsenabstand ähnlich wie früher  $k f_2$  nunmehr  $b = k c$ , dann ist  $L = f_1 + a + b + c + f_{OkI}$  die Gesamtlänge vom Scheitel des Objektivs bis zum

Scheitel des Okulars. Für  $L$  ergibt sich aus den soeben angeschriebenen Gleichungen die am Schlusse mitgeteilte Gl. (7), während die Länge  $L_{US}$  von der Ebene der Umkehrzweilinse bis zu ihrer Bildebene, d. h. also  $a + b + c$  durch (7a) bestimmt ist. Ausdrücklich muß hervorgehoben werden, daß in diesem allgemeinen Falle der Höchstwert von  $k$  nicht mehr ohne weiteres durch die Zahl 2 gegeben ist. In Gleichung (7) kommt keine der Größen im Quadrat vor; ein Quadrat käme erst vor, wenn man entweder den Sonderfall  $D_0 = D_1$  oder den Sonderfall  $D_2 = D_U$  behandelte. Der letztgenannte Sonderfall würde — wenn man berücksichtigt, daß durch (5a)  $L_1$  anders als  $L$  in (1) und anders als in unserm jetzigen allgemeinen Falle festgesetzt war — zur Gl. (5) führen. Eine Vereinigung der beiden Sonderfälle  $D_0 = D_1$  und  $D_2 = D_U$ , also  $D_0 = D_1 = D_2 = D_U = D$  ergäbe wiederum die Gl. (2).

Es verbleibt nunmehr nur noch die Aufgabe, auch die Gl. (6) zu verallgemeinern, indem wir statt je einer dünnen Umkehrlinse je eine Umkehrzweilinse annehmen. Wir müssen dann (7a) so oft anwenden, als die Zahl der Bildumkehrungen vorschreibt. Statt der Durchmesser  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  in (6) wollen wir nunmehr einführen  $d_{1,1}$ ,  $d_{1,2}$ ,  $d_{2,1}$ ,  $d_{2,2}$ ,  $d_{3,1}$ ,  $d_{3,2}$ . Dieser allgemeine Fall ist in der folgenden Figur angenommen; in ihr sind das Objektiv, die Bestandteile der Umkehrlinsen und das Okular jeweils durch ihre Hauptebenen angedeutet, während die Feldlinsen und die Hauptstrahlen gestrichelt eingezeichnet sind. Der Faktor  $k$  möge in jedem der drei Umkehrsysteme ein anderer sein:  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ . Dann folgt durch dreimalige Anwendung von (7a) unter Berücksichtigung der neuen Bezeichnungen für die Gesamtlänge der drei Umkehrlinsen:

$$\sum_{m=1}^{m=3} L_{US_m} = L_{US_1} + L_{US_2} + L_{US_3} \\ = \frac{1}{2 d \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha}{2} \right)} \{ d_I d_{1,1} + k_1 d_{1,2} d_{II} + d_{1,2} d_{II} \\ + d_{II} d_{2,1} + k_2 d_{2,2} d_{III} + d_{2,2} d_{III} \\ + d_{III} d_{3,1} + k_3 d_{3,2} d_{IV} + d_{3,2} d_{IV} \}$$

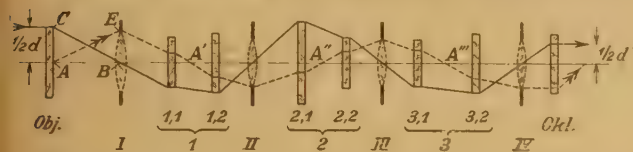
Diese Gleichung kann man auch in die am Schlusse als (8) bezeichnete Gleichung umformen. In (8) sind die Glieder zusammengefaßt nach  $d_I$ ,  $d_{II}$ ,  $d_{III}$ ,  $d_{IV}$ . Man erkennt, daß die Glieder mit  $d_{II}$  und  $d_{III}$  ähnlich gebaut sind. Daß die Glieder mit  $d_I$  und  $d_{IV}$  anders aussehen, hat seinen Grund darin, daß  $d_I$  bzw.  $d_{IV}$  die erste bzw. die letzte Gesichtsfeldblende ist. Will man die Gesamtlänge vom Objektivscheitel bis zum Okularscheitel berechnen, dann muß man in der geschweiften Klammer  $d_I d_{1,1}$  ersetzen durch  $d_I (d + d_{1,1})$  und  $d_{IV} (k_3 d_{3,2} + d_{3,2})$  durch  $d_{IV} (k_3 d_{3,2} + d_{3,2} + \frac{d}{\nu})$ .

Die gesamte Sehrohrlänge  $L_S$  — nunmehr von der Eintrittspupille des Sehrohrs bis zu seiner Austrittspupille gemessen — erhält man durch Einführung des Ausdrucks  $m_{Obj} f_1$  als Abstand von der Eintrittspupille bis zur (bildseitigen) Objektivbrennebene und des Ausdrucks  $m_{OkI} \cdot f_{OkI}$  als Abstand von der dingseitigen Okularbrennebene bis zur Austrittspupille aus der am Schlusse gegebenen Formel (9). Bei dieser Gelegenheit sei bemerkt, daß  $m_{OkI}$  häufig etwa durch die Zahl 2 gegeben ist. Diese Schlußgleichung (9) enthält alle anderen Fälle als Sonderfälle. Rein formal bedeutet beispielsweise  $m_{Obj} = 0$  bzw.  $m_{OkI} = 0$  die Weglassung der Länge des Objektivs bzw. des Okulars.  $k_1 = 0$ ,  $k_2 = 0$ ,  $k_3 = 0$  bedeuten, daß statt der Um-



kehrzweilinsen einfache Umkehrlinsen angewandt werden.  $d_{2,1} = d_{2,2}$  hätte beispielsweise die Bedeutung, daß in der Umkehrlinsenfolge 2 die Mittenstrahlen achsenparallel verlaufen. Setzt man  $m_{\text{Obj}} = 0$ ,  $m_{\text{Ok}} = 0$ ,  $d_{1,1} = d_{1,2}$ ,  $d_{2,1} = d_{2,2}$ ,  $d_{3,1} = d_{3,2}$ , dann geht (9) über in (6) usw.

Die Schlußgleichung (9) gilt nicht nur für Fernrohre, sondern für beliebige optische Vorrichtungen mit gemeinsamer optischer Achse, wenn man unter  $d$  den Durchmesser des Bündels der Mittenstrahlen in der bildseitigen Hauptebene der Objektivlinse und unter  $\alpha$  den Winkel versteht, unter dem die erste Gesichtsfeldblende (I) vom bildseitigen Hauptpunkt (A) dieser Objektivlinse aus erscheint, und wenn man  $d/V$  ersetzt durch den Durchmesser  $d$  des Bündels der Mittenstrahlen in der dingseitigen Hauptebene des Okulars. Im allgemeinen Fall fallen also — im Gegensatz zum Fernrohr — die Beziehungen  $d' = \frac{d}{V}$  und  $\text{tg}\left(\frac{\alpha'}{2}\right) = V \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)$  weg. Bei passender Wahl des Zahlenfaktors  $m_{\text{Obj}}$  in (9) kann man statt der soeben getroffenen Festsetzung im allgemeinen Falle unter  $d$



Erdfernrohr mit dreimaliger Bildumkehrung durch die Umkehrlinsen 1 bis 3. Jede dieser Umkehrlinsen ist als Zweilinsse angenommen; beispielsweise besteht 1 aus den beiden Linsen 1,1 und 1,2, welche die Gesichtsfeldblende I abbilden in die Gesichtsfeldblende II. Von dem Strahlenbündel der Mittenstrahlen (die zu einem Dingpunkt in der Mitte des Gesichtsfeldes gehören) ist nur der Grenzstrahl eingezeichnet, der nach dem Durchgang durch das Objektiv mit  $CB$  bezeichnet ist. In dem hier angenommenen Falle ist die Austrittspupille  $A$  des Objektivs als in seiner bildseitigen Hauptebene liegend angenommen.  $A$  wird durch die Feldlinse I und die Linse 1,1 abgebildet in  $A'$ ; dieser Punkt durch 1,2, die Feldlinse II und durch 2,1 in  $A''$ . Schließlich schneidet der gestrichelt eingezeichnete Hauptstrahl die optische Achse nach dem Durchgang durch das gesamte Fernrohr in der Mitte der Austrittspupille des Fernrohrs. In dem am Schlusse des Berichtes angedeuteten allgemeinsten Falle liegt der Dingpunkt nicht im Unendlichen, und  $CA$  liegt in der Austrittspupille des Objektivs.

den Durchmesser des Bündels der Mittenstrahlen in der Austrittspupille des Objektivs (also nicht der gesamten optischen Vorrichtung) und unter  $\alpha$  den Winkel verstehen, unter dem die erste Gesichtsfeldblende von dieser Austrittspupille des Objektivs aus erscheint.

Sind die einzelnen Linsen nicht unendlich dünn, dann muß zu der durch die Formeln [beispielsweise (9)] bestimmten Länge die Summe aller Hauptpunktszwischenräume hinzugezählt werden, damit man die wahre Gesamtlänge erhält; als Durchmesser für die Mittenstrahlen und für die Hauptstrahlen gelten, wie es die Figur andeutet, dann die Durchmesser in den Hauptebenen.

Die in diesem Bericht erwähnten Gleichungen sind:

$$L = f_1 + f_2 + k f_2 + f_2 + \frac{f_1}{V} \quad \dots (1)$$

$$(2+k) D^2 + \left(1 + \frac{1}{V}\right) D d - 2 L d \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 0 \quad (2)$$

$$D = \sqrt{\frac{d L \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{1 + \frac{k}{2}}} \quad \dots (2a)$$

$$D = \sqrt{\frac{d' L \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{1 + \frac{k}{2}} - d \frac{(1 + \frac{1}{V})}{2(2+k)}} \quad \dots (2b)$$

$$D = \sqrt{\frac{d' L}{1 + \frac{k}{2}} \cdot \text{tg}\left(\frac{\alpha'}{2}\right)} \quad \dots (2c)$$

$$d = d' V \quad \dots (3)$$

$$V \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \text{tg}\left(\frac{\alpha'}{2}\right) \quad \dots (4)$$

$$(1+k) D^2 + D \delta + m d \delta - 2 L_1 d \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 0 \quad (5)$$

wenn  $L_1 = m f_1 + f_0 + k f_2 + f_2 \quad \dots (5a)$

$$L_{US} = \frac{1}{2 d \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \{ d_1 (d_I + d_{II}) + d_2 (d_{II} + d_{III}) + d_3 (d_{III} + d_{IV}) \} \quad (6)$$

$$L = \frac{D_0}{2 \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + \frac{D_0 D_1}{2 d \cdot \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + \frac{(k+1) D_2 D U}{2 d \cdot \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + \frac{D U}{2 V \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (7)$$

$$L_{US_1} = - \frac{1}{2 d \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \{ D_0 D_1 + k D_2 D U + D_2 D U \} \quad (7a)$$

$$L_{US_1} + L_{US_2} + L_{US_3} = - \frac{1}{2 d \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \{ d_I d_{,1} + d_{II} (k_1 d_{1,2} + d_{1,2} + d_{2,1}) + d_{III} (k_2 d_{2,2} + d_{2,2} + d_{3,1}) + d_{IV} (k_3 d_{3,2} + d_{3,2}) \} \quad (8)$$

Gesamte Fernrohlänge  $LS =$

$$\frac{1}{2 d \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \{ d_I (m_{\text{Obj}} d + d_{1,1}) + d_{II} (k_1 d_{1,2} + d_{1,2} + d_{2,1}) + d_{III} (k_2 d_{2,2} + d_{2,2} + d_{3,1}) + d_{IV} (k_3 d_{3,2} + d_{3,2} + m_{\text{Ok}} \frac{d}{V}) \} \quad (9)$$

Der Vollständigkeit halber mag zum Schlusse noch bemerkt werden, daß bei allen diesen Formeln die sphärischen Abweichungen nicht berücksichtigt sind.

H. Erfle.

**Der Strahlengang in Sehrohren mit einem Umkehrsystem aus zwei getrennten Linsen.** (Transactions of the Optical Society 1921—22, 23, Nr. 1. Alexander Gleichen, The path of rays in periscopes having an inverting system comprising two separated lenses. Sonderdruck, 16 S., 8 Abb.)

Der Zweck der Arbeit ist zu zeigen, wie die Vergrößerung, das Gesichtsfeld und der Durchmesser der Austrittspupille (in der Mitte und am Rand des Gesichtsfeldes) zusammenhängen mit der Länge und dem Durchmesser eines Sehrohrs, das aus zwei hintereinandergeschalteten astronomischen Fernrohren besteht. Da die Endergebnisse schon anderthalb Jahre vorher in einer Arbeit von H. Erfle (Deutsche optische Wochenschrift 1920, 136—139, 154—157, 171—173) enthalten sind, über die der vorübergehende Bericht Auskunft gibt, braucht über Gleichens Ergebnisse nur kurz berichtet zu werden. Gleichens bezeichnet die Brennweiten des Objektivs, des Vordergliedes, des Hintergliedes der Umkehrlinsenfolge, des Okulars der Reihe nach mit  $f_0, f_1, f_2, f_3$ , so daß unter der oben

angegebenen vereinfachenden Annahme über die Beschaffenheit des Sehrohres die Fernrohrvergrößerung durch  $v = \frac{f_0}{f_1} \cdot \frac{f_2}{f_3}$  bestimmt ist.  $p$  und  $p'$  seien die Durchmesser der Eintritts- bzw. Austrittspupille,  $\omega$  das halbe dingseitige und  $\omega'$  das halbe bildseitige Gesichtsfeld.

Die bekannten Beziehungen zwischen der Länge  $l$  des Blendenzylinders (Abstand zwischen den Umkehrlinsen) und der Länge der entsprechenden Zylinder im Ding- und Bildraum werden abgeleitet, ohne daß auf die einfache Ableitungsmöglichkeit mittels der Tiefenvergrößerungen und auf die Bedeutung von  $\left(\frac{f_0}{f_1}\right)^2$  und  $\left(\frac{f_3}{f_2}\right)^2$  hingewiesen wurde. Für die Bestimmung der Größe der Austrittspupille am Rand des Gesichtsfeldes wird Gl. (11a) eingeführt:

$$\mu = \frac{CN}{2CS_1},$$

wobei  $CN$  die Strecke ist, welche das den Randpunkt des Gesichtsfeldes abbildende Strahlenbüschel im Achsenschnitt auf dem Durchmesser ( $2CS_1 = d$ ) eines jeden Umkehrlinsenteils abschneidet. Wenn der Öffnungsblendenmittelpunkt  $B$  um  $c$  hinter dem Scheitel  $S_1$  des Vordergliedes des Umkehrsystems liegt, gilt:

$$\mu = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{c}{l-c}\right),$$

woraus mit

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{d^2}{2p(l-c)}$$

folgt:

$$l = \frac{d^2(1-\mu)}{p \operatorname{tg} \omega}$$

Der ganzen hier gewählten Anlage des Sehrohres entsprechend ist  $\mu$  stets kleiner als 1.  $\mu$  könnte, wie hier ergänzend hinzugefügt sei, den Wert 1 nur erreichen entweder für  $l=0$  oder für die praktisch nicht vorkommenden Fälle  $p=0$  oder für  $\omega=0$ .

Als Augenpunkt wird der dem Punkte  $B$  entsprechende bildseitige Achsenschnittpunkt des zugehörigen Strahls gewählt; dieser Strahl geht also zwischen den Umkehrlinsen durch den Rand der Hinterlinse des Umkehrsystems.  $\mu$  ist gleichzeitig das Verhältnis des Stückes auf der Zentralen des Kreis-zweiecks zum Durchmesser der für die Mitte des Gesichtsfeldes wirksamen Austrittspupille  $p'$ . Dann wird in Abschnitt 6 und 7 auf die in bekannter Weise anzuordnenden Feldlinsen  $f_v$  in der Brennebene des ersten astronomischen Fernrohres und  $f_a$  in der Brennebene des zweiten astronomischen Fernrohres hingewiesen.  $\psi_v$  und  $\psi_a$  seien die Durchmesser dieser Feldlinsen.

Vollständig behandelt wird dann im Abschnitt 8 (Seite 9–10) der Fall, daß der Durchmesser in der unteren Bildebene der Umkehrlinse dem Durchmesser der Umkehrlinse gleich wird. Die fünf Gleichungen:

$$l = \frac{d^2(1-\mu)}{p \operatorname{tg} \omega} \quad \dots \quad (I)$$

$$f_2 = \frac{l}{2(1-\mu)} \quad \dots \quad (II)$$

$$f_3 = \frac{d}{2 \operatorname{tg} \omega'} \quad \dots \quad (VA)$$

$$\frac{f_0}{f_1} = \frac{p}{d} \quad \dots \quad (IV)$$

und  $L = f_0 + f_1 + f_2 + f_3 + l \quad \dots \quad (V)$  welche *Gleichen* zur Berechnung der fünf Unbekannten

$f_0, f_1, f_2, f_3, l$  aus den gegebenen Größen  $\omega, \omega', p, v = \frac{\operatorname{tg} \omega'}{\operatorname{tg} \omega}, d, \mu$  und  $L$  gibt, stimmen überein mit den Gleichungen, welche *Erfle* früher zu der Gleichung [im vorhergehenden Bericht mit (5) bezeichnet] zwischen  $k, D, \delta, m, d, L$  und  $\alpha$  geführt hatten, die in  $\delta$  linear war. Die Berechnung der Unbekannten führt, wie *Gleichen* bemerkt, nur zu linearen Gleichungen ganz entsprechend der Tatsache, daß die von *Erfle* angegebene Gleichung in  $\delta$  linear war. Hier sei noch als Ergänzung zur Gleichenschen Veröffentlichung die aus den fünf vorhin wiedergegebenen Gleichungen folgende Formel für  $f_0$  wiedergegeben:

$$f_0 = \frac{2Lp \operatorname{tg} \omega - d^2(-2\mu + 3) - dp'}{2(p+d) \operatorname{tg} \omega},$$

welche infolge der hier gültigen Beziehung  $1 - \mu = \frac{k}{2}$  zwischen dem von *Erfle* benutzten Faktor  $k$  und dem Gleichenschen  $\mu$  übergeht in die Formel, die mit

$$f_{\text{obj.}} = \frac{D_0}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}$$

Bericht genannten Formel (7) folgt, wenn man  $D_2 = D_u$  setzt. Wenn  $D_2$  von  $D_u$  verschieden ist, aber immer noch  $D_1 = D_2$ , dann ist statt  $1 - \mu = \frac{k}{2}$  zu

$$\text{setzen } 1 - \mu = \frac{k D_u}{2 D}.$$

Im Abschnitt 9 (Seite 11) behandelt *Gleichen* einen Sonderfall des im Abschnitt 8 behandelten Falles durch Annahme von  $f_1 = f_2$  und  $\mu = \frac{1}{2}$ . Er findet eine quadratische Gleichung für  $d$ , welche man aus der von *Erfle* gegebenen Gleichung [siehe (2) des vorigen Berichts] ohne weiteres erhält für  $k=1$ , wenn man berücksichtigt, daß  $D, V, d, L, \frac{\alpha}{2}$  bei *Erfle* den Größen  $d, v, p, L, \omega$  bei *Gleichen* entsprechen. Es wird ein Zahlenbeispiel durchgerechnet ohne einen Hinweis auf die bequemen Näherungsformeln, die *Erfle* zum Zwecke eines Überblicks über den Zusammenhang zwischen den Abmessungen und der optischen Leistung eines Erdfernrohres abgeleitet hat. [Gleichungen (2a), (2b) und (2c) des vorhergehenden Berichts.] Im Abschnitt 10 wird in bekannter Weise ein Ramsdensches Okular berechnet. Im Abschnitt 11 und 12 wird der Hauptstrahlenverlauf in einem Sehrohr mit verjüngtem Oberteil behandelt. *H. Erfle*.

**Achromatische vierlinsige Okulare.** (Transactions of the Optical Society 23, 1921–22, Nr. 2. J. W. Gifford, Achromatic one-radius doublet eyepieces. Sonderdruck, 2 S.)

Nach einem Hinweis auf eine frühere Veröffentlichung (1920) des Verfassers werden zwei vierlinsige Okulare beschrieben, welche die — übrigens jedem in der technischen Optik Tätigen bekannte, aber bei gegebenen Glasarten den Grad der Beseitigung von Bildfehlern beschränkende — Eigentümlichkeit haben, daß jede der beiden Linsengruppen aus einer plankonkaven Flintlinse und einer mit ihr verkitteten gleichseitigen Sammellinse aus Kronglas besteht. *Gifford* nennt das eine Okular deshalb Huygensischer Art, weil die Planflächen seiner beiden Linsengruppen dem Auge zugekehrt sind. Es sei von der weiteren Benutzung dieser Bezeichnung abgeraten, da sich damit leicht die irrtümliche Auffassung verbinden könnte, daß die dingseitige Brennebene wie beim Huygensischen Okular unzugänglich (virtuell) sei. Wie die Durchrechnung zeigt, liegt nämlich die dingseitige Brennebene des



ersten der von *Gifford* beschriebenen Okulare im Gegensatz zum Huygensischen Okular vor dem Okular, ist also — wie beim Ramsdenschen Okular — zugänglich. Es seien also alle Okulare, bei denen die dingseitige Brennebene zugänglich ist, als Ramsdenokulare bezeichnet.

Will man die beiden von *Gifford* beschriebenen Ramsdenschen Okulare voneinander unterscheiden, dann könnte man statt der vom Verfasser gewählten Bezeichnung (nach *Huygens* bzw. nach *Ramsden*) das eine Okular als Ramsdenokular mit hintereinandergeschalteten Doppellinsen, das andere als Ramsdenokular mit gegeneinandergeschalteten Doppellinsen bezeichnen. Das erste hat für die Brennweite 1 die Abmessungen (mit  $d$  sind die Scheitelabstände, mit  $r$  die Radien bezeichnet):  $r_1 = +1,0$ ,  $d_1 = 0,28$ ,  $r_2 = -1,0$ ,  $d_2 = 0,12$ ,  $r_3 = \infty$ ,  $d_3 = 0,576$ ,  $r_4 = +0,5$ ,  $d_4 = 0,35$ ,  $r_5 = -0,5$ ,  $d_5 = 0,06$ ,  $r_6 = \infty$ . Dabei ist statt der vom Verfasser gewählten Tabellenform, um eine Wiedergabe der Abbildungen überflüssig zu machen, die Bezifferung begonnen von der nach dem Objektiv zugelegenen Okularfläche. Positives Vorzeichen des Radius bedeutet, daß die erhabene Seite der Fläche dem Objektiv zugekehrt ist. Die Linsen  $d_1$  und  $d_4$  sind aus Kronglas ( $n_D = 1,519\ 12$ , Glasart 0,3581 des Schottkatalogs), die Linsen  $d_2$  und  $d_5$  aus Flintglas ( $n_D = 1,621\ 60$ , schweres Flint Nr. 1794 von *Chance*). Der dingseitige Brennpunkt liegt, wie hier hinzugefügt sei, um 0,321 vor der ersten Fläche, der bildseitige Brennpunkt um 0,342 hinter der sechsten Fläche (d. h. der Außenfläche). Das Verhältnis der Farbenzerstreuungen ( $C$ -Linie und  $F$ -Linie) der beiden Glasarten ist  $\delta n' / \delta n = 2,002$ . Der Durchmesser der ersten Doppellinse (Feldlinse) ist 1,0, der der zweiten Doppellinse (Augenlinse) 0,75.

Das zweite Ramsdenokular, also das mit Gegen-einanderschaltung der Doppellinsen, besteht aus den gleichen Glasarten; die Brechungsverhältnisse  $n_D$  und das Verhältnis der Farbenzerstreuungen sind vorhin angegeben worden. Für die Brennweite 1 sind seine Abmessungen (wir geben nur den Fall mit der dickeren Flintlinse wieder):  $r_1 = \infty$ ,  $d_1 = 0,09$ ,  $r_2 = +0,681$ ,  $d_2 = 0,225$ ,  $r_3 = -0,681$ ,  $d_3 = 0,693$ ,  $r_4 = +0,681$ ,  $d_4 = 0,113$ ,  $r_5 = -0,681$ ,  $d_5 = 0,06$ ,  $r_6 = \infty$ . Die Linsen  $d_1$  und  $d_5$  sind demnach aus Flintglas,  $d_2$  und  $d_4$  aus Kronglas. Der dingseitige Brennpunkt liegt um 0,368 vor der ersten Fläche, der bildseitige Brennpunkt um 0,591 hinter der Außenfläche. Das scheinbare Gesichtsfeld bei beiden Okularen beträgt nach den Angaben von *Gifford* etwa 35°.

Bemerkt sei noch, daß die Angaben *Giffords* über die Lage des Augenortes bei den Okularen mindestens unvollständig sind, da nicht gesagt wurde, von welchem Punkte vor dem Okular die Hauptstrahlen ausgehen. Daß bei dem ersten Okular der Augenort wesentlich weiter ab von der Außenfläche liegt als beim zweiten — diesen Schluß müßte man unter Annahme der gleichen Lage des dingseitigen Hauptstrahlenkreuzungspunktes aus den Zahlenangaben *Giffords* für die Lage des Augenortes ziehen —, ist keinesfalls richtig.

H. Erflc.

## Botanische Mitteilungen.

Ein Schema für die osmotische Leistung der Pflanzenzelle. (*Karl Höfler*, Berichte d. D. Bot. Ges. 38, S. 288, 1920.) Der Ausdruck *osmotischer Druck* der Zelle ist oft vieldeutig gebraucht worden. Dem entgegen sollen die einzelnen *osmotischen Zustands-*

*größen* der Pflanzenzelle klar unterschieden werden: *Osmotischer Wert* heiße (im Anschluß an *Ursprung* und *Blum*) die Maßzahl für die den Zellsaft isotonische Konzentration eines gelösten Vergleichstoffes (gewöhnlich von Rohrzucker), *Turgordehnung* — die Maßzahl fürs Volumenverhältnis der turgeszenten zur turgorlosen Zelle, *Turgordruck* — der Druck des Zellinhaltes auf die elastisch gedehnte Wand, *Saugkraft* der Zelle — das osmotische Anziehungsvermögen der, ganzen Zelle (nicht des Zellsaftes allein) für Wasser. — Die zwischen diesen Größen waltenden Zahlenbeziehungen lassen sich nun durch graphische Darstellung veranschaulichen. Das „Schema“ besteht aus einem Koordinatensystem, in dem die Grade der Turgordehnung  $G_t$  die Abszissen, die zugehörigen osmotischen Zellwerte  $O_t$  die Ordinaten sind. Ist  $O_1$  der plasmolytisch meßbare, als konstant angenommene osmotische Wert der turgorlosen Zelle, so ist  $O_t = O_1 : G_t$ , ferner ist der Turgordruck  $T = a (G_t - 1)$  und die Saugkraft  $S = O_t - T$ . Bei Wassersättigung wird  $O_T = T = a (G_T - 1)$ , wobei  $G_T$  der Grad der Turgordehnung der wassergesättigten Zelle ist. Das Schema wird durchdiskutiert. Unter den Modifikationen ist am wichtigsten jene, die für die im Gewebsverbande eingeschlossene Zelle gilt; hier verläuft  $T$  nur anfangs linear mit  $G_t$ , dann steiler, konkav nach oben. — Als Frage an die Geobotanik wird endlich angeregt, ob nicht der *relative Turgeszenzgrad*  $(G_T - G_t) : (G_T - 1)$  für Xerophyten, Mesophyten, Hygrophyten und Hydatophyten charakteristisch, nämlich für erstere nieder, für letztere hoch, resp. = 1 sei.

Ein Spiegelauxanometer für Keimwurzeln. (*R. Seeliger*, Ber. d. D. Bot. Ges. 39, I. Mitt., S. 31, II. Mitt. S. 36, 1921.) Der beschriebene Wachstumsmesser beruht auf dem Prinzip der Messung kleinster Drehungen mit Fernrohr, Spiegel und Skala (*Poggendorffs* Prinzip). Der junge Keimling wird unmittelbar oberhalb der Wurzelbasis durch einen Keimlingshalter festgehalten, während die Wurzelspitze bei ihrer Abwärtsbewegung eine horizontale Achse mit senkrecht orientiertem Spiegel dreht. Die Kraft, welche die wachsende Wurzel für die Bewegung der Hebelvorrichtung aufzuwenden hat, kann durch Einstellen eines kleinen Laufgewichtes auf ein Minimum reduziert werden. Der Wachstumsvorgang wird mit Fernrohr und senkrechter Skala an der Veränderung des Skalenbildes *direkt beobachtet und gleichzeitig messend verfolgt*. Einrichtung des Instrumentes, Versuchsanordnung, bequemste Art der Korrektur der Ablesungen und einfachste Form der tabellarischen und graphischen Darstellung der Versuchsergebnisse werden kurz beschrieben.

Pfropfversuche. (*Rudolf Lieske*, Ber. d. D. Bot. Ges. 38, 353, 1921.) Zahlreiche Pfropfversuche ergaben eine auffallend große Pfropfverwandtschaft der einzelnen Arten und Gattungen der Cucurbitaceen. Es wurde versucht, die erzielten Ergebnisse praktisch zu verwerten. Melonen, auch Treibhaussorten, die normalerweise im Freien Früchte nicht ausbilden, bildeten auf *Sicyos angulata*, eine aus Amerika stammende, der Zaurübe ähnliche Pflanze gepfropft, gut ausgereifte Früchte. Gurken auf *Sicyos angulata* entwickelten sich überraschend üppig. — Versuche mit Leguminosen und Erlen ergaben, daß der von den Knöllchen assimilierte Luftstickstoff ohne weiteres auf das Reis übertragen wird, auch wenn die beiden Pfropfkomponenten verschiedene Symbionten haben. Versuche mit einjährigen und ausdauernden Pflanzen ergaben, daß die Lebensdauer der Komponenten nicht beeinflusst wird. Pfropf-

bastarde zwischen Tomate und *Solanum dulcanara* entwickelten nur 4 bis 6 Blätter, dann stellte der Vegetationspunkt das Wachstum ein und aus den Blattachsen entstanden reine Tomaten.

**Ein neues Diaphanoskop** (R. Kolkwitz, Ber. d. D. Bot. Ges. 38, 308, 1920). Verf. konstruierte einen einfachen Apparat, mit dem er zeigen konnte, daß dicke Chlorophyllschichten (lebende Blätter usw. oder Lösungen) ganz allgemein nur langwelliges rotes Licht passieren lassen, das mit Fluoreszenz nichts zu tun hat. Die Versuche machen es verständlich, daß die Assimilationskurve im äußersten Rot steil abfällt. Die große Penetrationskraft der langwelligen roten Strahlen ist auch sonst, besonders bei organischen Körpern (Farblösungen, Papier, Holz usw.) eine weitverbreitete Erscheinung.

(Autoreferate aus den Berichten der Deutschen Botanischen Gesellschaft.)

**Über den Einfluß von Verwundungen auf die Permeabilität.** Dafür, daß die Permeabilität der Zelle für Salze in derselben Weise wie andere Lebensprozesse von bestimmten Außenfaktoren abhängig ist, liegen schon zahlreiche Anhaltspunkte vor. Licht- und Temperaturverhältnisse können eine Veränderung der Durchlässigkeit des Protoplasmas bedingen, und dasselbe gilt für verschiedene Salzlösungen. Versuche von Tröndle (Beih. z. bot. Centralbl. 28, 1921, 2. Abt.) haben nun gezeigt, daß auch der Wundreiz einen Einfluß auf die Permeabilität ausübt, und zwar derart, daß durch traumatische Eingriffe die Salzaufnahme gehemmt wird. Legt man Schnitte aus dem Wurzelgewebe von *Lupinus albus* (weiße Lupine) oder *Vicia Faba* (Saubohne) z. T. sofort in eine Salzlösung, z. T. erst nach vorherigem Aufenthalt in Wasser, dann beobachtet man im ersten Fall eine rasche Salzaufnahme, während im zweiten eine solche ausbleibt. Dieser Unterschied beruht, wie durch Variation der Versuchsbedingungen gezeigt wird, darauf, daß der Wundreiz die Salzaufnahme hemmt; diese Hemmung macht sich aber nicht sofort bemerkbar, sondern der Wundreiz muß erst eine bestimmte Zeit einwirken, damit ein solcher Erfolg zutage tritt. Bei längerem vorherigen Aufenthalt in Wasser klingt der Reiz wieder ab, die Salzaufnahme wird normal. Wir haben also die typische Erregungskurve. Auch andersartige traumatische Eingriffe — Einschnitte und Stiche in die Wurzelspitze — wirken in derselben Weise. Die Hemmung der Salzaufnahme ist nicht auf die unmittelbare Nachbarschaft der Wunde beschränkt, sondern sie läßt sich noch bis zu 2 cm Distanz nachweisen. Allerdings nimmt der Erfolg mit der Entfernung von der verletzten Region stufenweise ab. In all diesen Punkten schließen sich die Tröndleschen Ergebnisse in schönster Weise an die Erfahrungen an, die man bisher über den Ablauf von Wundreaktionen (erhöhte Atmung und Wärmeproduktion, Kernwanderung, Protoplasmaströmung usw.) gewonnen hat.

Stark.

## Astronomische Mitteilungen.

**Die Plejaden.** (F. Hayn, Abh. der math.-phys. Klasse der sächsischen Akademie der Wissenschaften Bd. 38, Nr. 6.) Verfasser teilt die Ergebnisse seiner Vermessung der Plejadengruppe nach photographischen Aufnahmen mit dem Refraktor der Leipziger Sternwarte mit. Vorausgeschickt ist der Arbeit eine aus-

föhrliche Beschreibung des Refraktors und des Plattenmeßapparates. Der erste Teil der eigentlichen Arbeit behandelt die Aufnahme und die Auswertung der Platten. Um die ganze Gruppe zu erhalten, waren vier Aufnahmen mindestens erforderlich. Von jedem Feld wurden zwei Platten aufgenommen, auf denen sich mehrere Aufnahmen mit verschiedener Belichtungszeit befinden, um sowohl die hellen als auch die schwachen Sterne bis etwa 9,5. Größe sicher ausmessen zu können. Der zweite Teil enthält die Ableitung eines Kataloges der 70 hellsten Plejadensterne. Die Grundlage bilden nur die Heliometefmessungen und die photographischen Vermessungen von 1830 bis 1916, die ein in sich geschlossenes Ganzes bilden. Die jährliche Eigenbewegung der Gruppe ist nach den 12 in dem Fundamental-katalog von *Bo* enthaltenen Sternen  $+0^{\circ},023$  in Rektaszension und  $-0^{\circ},050$  in Deklination. Hieraus ergibt sich die jährliche Lateralebewegung zu  $0^{\circ},054$  im Positionswinkel  $158^{\circ}$ . Nur für 12 von den 70 Sternen des Katalogs ergibt sich eine merklich andere Eigenbewegung. Diese Sterne gehören also nicht zur Plejadengruppe. Diese Ergebnisse sind in guter Übereinstimmung mit den von Trümpler (American Astronomical Society Vol. III, Lick Obsy. Bulletin 333) ausgeführten Abzählungen der Sterne bis 9,5. Größe innerhalb eines Kreises von 2 Grad Durchmesser um Alkyone. Der Haynsche Katalog umfaßt nur diesen zentralen Teil der Gruppe. Gruppenmitglieder finden sich noch bis etwa 3 Grad vom Zentrum entfernt. Ihre Anzahl ist jedoch gering, etwa 30 Sterne bis zur 9,5. Größe. Die Zahl der schwachen Sterne, die zu den Plejaden gehören, ist klein. Van Maanen fand auf einem Gebiet von  $\frac{1}{4}$  Quadratgrad nur 5 Sterne, die an der Gruppenbewegung teilnehmen. Nach Trümpler befinden sich in dem zentralen Gebiet etwa 100 und außerhalb noch 30 schwache Sterne bis zur 15. Größe, die als zu den Plejaden gehörig anzusehen sind. Hieraus ist zu schließen, daß die Anzahl der Sterne heller als 15. Größe, die physische Mitglieder der Plejadengruppe sind, 250 nicht übersteigen dürfte. Die gemeinsame Eigenbewegung ist aber nicht immer ein hinreichender Beweis für die Zugehörigkeit zur Gruppe. Kürzlich ist es gelungen, innerhalb des betrachteten Areals zwei Sterne zu finden, die etwa dreimal so weit entfernt sind als die Gruppe; diese Sterne gehören also trotz gleicher Eigenbewegung nicht zu den Plejaden.

Die Gruppenbewegung sowie die Radialgeschwindigkeit läßt sich fast vollständig durch die Bewegung der Sonne erklären. Diese bewegt sich mit 20 km pro sec in der Richtung nach dem Punkt  $\alpha = 270^{\circ}$ ,  $\delta = +30^{\circ}$ . Zerlegt man diese Geschwindigkeit in 3 Komponenten, von denen die eine in den Visionsradius nach den Plejaden fällt und die beiden anderen den sphärischen Koordinaten (Rektaszension und Deklination) parallel sind, so genügt es, eine Parallaxe von  $0^{\circ},014$  anzunehmen, um eine ausreichende Übereinstimmung mit den beobachteten Winkelbewegungen herzustellen. Dieser Parallaxe entspricht eine Entfernung von 230 Lichtjahren und ein Durchmesser der Gruppe von rund 24 Lichtjahren. Der zentrale Teil, in dem die Sterne am dichtesten stehen, hat immer noch einen Durchmesser von 8 Lichtjahren, so daß die einzelnen Sterne noch recht weit voneinander abstehen. Es ist daher erklärlich, daß sich bisher (d. h. innerhalb eines Jahrhunderts) noch keine gegenseitigen Anziehungen gezeigt haben.

F. Pavcl.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 15. (Seite 337—360)

14. April 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Skelettprobleme. Von *H. Petersen, Gießen*. (Mit 8 Abbildungen.) S. 337.

Der Streit um das Elektron. Von *R. Bär, Zürich*. (Schluß.) S. 344.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Die Phosphat-Rohstoffe. Von *Pietrkowski, Berlin-Charlottenburg*. S. 350.

Erwiderung. Von *V. M. Goldschmidt, Kristiania*. S. 351.

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. S. 351-356.

Reisen in Patagonien und Peru. Die ozeanische Zirkulation mit besonderer Berücksichtigung des Atlantischen Ozeans. Ozeanographische Arbeiten

der Deutschen Antarktischen Expedition 1911—1912. Neue Staatenbildungen in Vorderasien. Forschungsreisen in den argentinischen Gebirgen. Afrikanisches Regenwaldgebiet.

Deutsche Ornithologische Gesellschaft. S. 356.

Sprungvariationen in der Gefiederfärbung einiger Vogelarten. Paarungsweisen der Vögel.

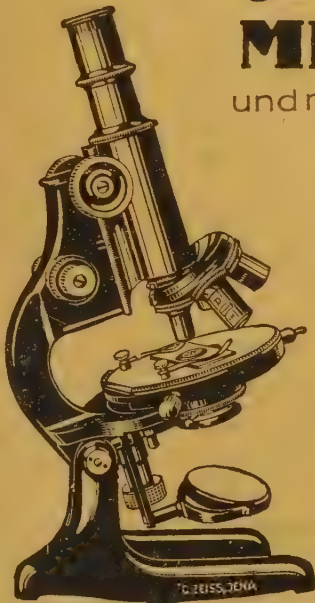
Geophysikalische Mitteilungen. S. 356—360.

Die Internationale Erforschung der oberen Luftschichten. Lotschwankung und Deformation der Erde durch Flutkräfte. Akustische Tiefenmessung. Jahresbericht des Schweizerischen Erdbebenendienstes 1919. Erdbeben in Bayern 1908/20. Internationale Listen afrikanischer Ortsnamen.

# ZEISS

## MIKROSKOPE

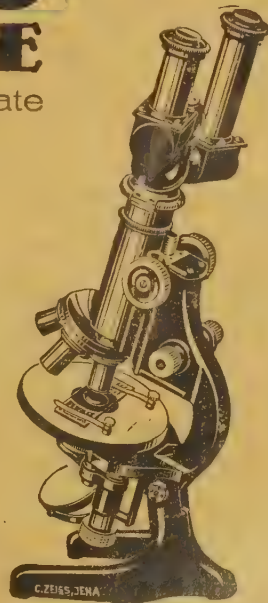
und mikroskopische Hilfsapparate



**Lupen**  
**Projektionsapparate**  
**Epidiaskope**  
**Photo - Objektive**

usw.

Druckschriften auf  
Wunsch kostenfrei



### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 60.— für das zweite Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 6.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20120 Julius Springer.  
Konten: für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

Man verlange  
Listen!



### Projektions-Apparate Liesegang

Hochkerziges

## Globoscop

entwirft scharfe, helle Lichtbilder nach jedem Papierbild. An jede elektrische Lichtleitung anzuschließen.

Neue große Lichtbilder-Sammlung  
aus allen Gebieten  
für Lehr- und Vortragszwecke!

**Ed. Liesegang, Düsseldorf**  
Brieffach 124

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

## Das Weltgebäude im Lichte der neueren Forschung

Von

**Dr. W. Nernst**

o. ö. Professor an der Universität Berlin

(IV, 64 S.) 1921

Preis M. 12.— (u. Teuerungszuschlag)

## Mikroskop

gesucht. (281)

Erprobt, neuere Bauart (Messer?). :: Für Lehrer.

**Gebr. Ulmer, Gera, Gries 9.**

Wir suchen zu kaufen:

## Die Naturwissenschaften 1913 — 1921

in kompletten Exemplaren, Serien und Einzeljahrgängen und zahlen höchste Preise. Wir sind auch jederzeit Käufer

aller wissenschaftlichen  
und Kunstzeitschriften (289)

Besonders suchen wir:

Archiv f. Hydrobiologie u. Planktonkde. — Archiv f. Rassen- und Ges.-Biologie — Archiv f. Naturgeschichte — Archiv f. Entwicklungsmechanik d. Org. — Jahrb. d. Radioaktivität u. Elektronik — Kosmos (Handweiser) — Wissenschaftl. Meeresuntersuchungen — Naturae Novitates — Jenaische Zeitschrift f. Naturwissenschaft — Zeitschrift f. wiss. Mikroskopie — Zeitschr. f. indukt. Abstammungs- u. Vererb.-Lehre — Naturwissenschaftl. Wochenschrift — Biologisches Zentralblatt usw.

sowie alle Zeitschriften aus den Gebieten:

**Botanik — Chemie — Geologie und Mineralogie — Mathematik — Meteorologie — Pharmazie — Physik — Zoologie** und erbitten Angebote (möglichst mit Preisforderungen).

**K. F. Koehlers Antiquarium**  
Leipzig, Täubchenweg 19.

Bezugsquelle für alte und neue Bücher, Zeitschriften und Vaabihl

## Voigt & Hochgesang Göttingen

Fabrik f. Dünnschliffe,  
Kristallpräparate von  
eigenem, sowie von  
geliefertem Material. (260)

Schul- und Studiensammlungen von ersten Fachleuten der Wissenschaft zusammengestellt. Kataloge stehen kostenfrei zur Verfügung.



## Skelettprobleme<sup>1)</sup>.

Von Hans Petersen, Gießen.

Das Skelettsystem ist der mechanische Apparat des Körpers. Wir fassen in ihm alle Organe und Gewebe zusammen, deren Aufgabe es ist, den mechanischen Einwirkungen, denen der Körper ausgesetzt ist, entweder unmittelbar Widerstand zu leisten, oder sie doch unschädlich zu machen. Er hilft zugleich die Werkzeuge liefern, durch die der Körper auf seine Umgebung mechanisch wirkt. Der aktive Teil, die Muskulatur, ist mit ihm zu einer Einheit verbunden, so, daß sie auch bei rein statischen Aufgaben die Leistungen des Skeletts überall ergänzt und zum Teil erst ermöglicht.

Ich möchte hier jedoch nicht den eigentlich mechanischen Problemen des Skelettapparates nachgehen, sondern ich möchte versuchen, die biologischen, die lebendigen Probleme dieses Organsystems zu erörtern. Es ist wohl aber von Zeit zu Zeit geboten, dem Problematischen eines Gebietes nachzugehen, ja vielleicht ist der Gedanke nicht ganz unberechtigt, der, neben dem Material, dem Tatsächlichen, in der Problemstellung das Bleibende der wissenschaftlichen Arbeit sieht. Der wissenschaftliche Fortschritt liegt vielleicht, neben den eigentlichen Entdeckungen, den Forschungsergebnissen, in dem Aufstellen neuer Probleme, in dem Zerlegen alter Fragen in neue.

Wir wollen damit beginnen, uns einen Einblick in die *Eigenart tierischer Konstruktionen* zu verschaffen.

Zwei Aufgaben sind es, denen der mechanische Apparat, die Skelettmuskelmaschine, zu genügen hat: statische Aufgaben und kinematische Aufgaben, Stützleistungen und Bewegungsleistungen. Die Aufgaben des Bauingenieurs und die des Maschineningenieurs sind durch *daselbe* System konstruktiver Elemente gelöst, wenn auch nicht jeder Apparat sich durch die ganze Konstruktion erstreckt. Jedoch gilt ganz allgemein, daß jede Bewegung, die wir vollbringen, große Teile des ganzen Körpers in Mitleidenschaft zieht, größere, als es bei oberflächlicher Betrachtung den Anschein hat. Das beruht auf den Schwerpunktsverschiebungen, die bei jeder Bewegung stattfinden, und die bei dem labilen Gleichgewicht, in dem sich vor allem der menschliche Körper befindet, Gegenverschiebungen nötig machen oder doch zum mindesten irgendwelches Feststellen von Teilen. Jeder Griff nach einem Gegenstand, der vor mir auf dem Tische

<sup>1)</sup> Nach einem Vortrag am 17. Dezember 1921 vor der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft zu Frankfurt a. M.

liegt, macht das bei genauer Selbstkontrolle deutlich.

In jedem Skelett steckt gleichzeitig eine Hochbaukonstruktion, eine Transportmaschine und eine ganze Reihe von Werkzeugmaschinen.

Denken wir zunächst an unsere eigenen Beine. Sie dienen als säulenartige Stützen beim Stehen, sie sind Fortbewegungsapparate, nicht nur für verschiedene Geschwindigkeiten, sondern für verschiedene *Arten* der Fortbewegung. Dabei beruht es wohl auf eben dieser merkwürdigen Mengenanforderung an die Skelettmuskelmaschine, daß die Verschiedenheiten der Geschwindigkeit in der Fortbewegung durch einen Wechsel in der Fortbewegungsart erreicht werden. Bei den Transportmaschinen der Technik gibt es so etwas nicht. Wenn die Lokomotive schneller laufen soll, so erhöht man die Umdrehungszahl, aber sie fällt nicht aus dem Schritt in Trab und Galopp.

Die vollendetste Laufkonstruktion unter den Tieren ist eben das Pferd mit seinen drei Fortbewegungsarten Schritt, Trab und Galopp. Dazu kommt noch der Sprung. Der Pferdekörper ist aber eine ebenso gute Hochbaukonstruktion. Es gelingt, ein totes Pferd hinzustellen<sup>2)</sup>, wenn man seine Kniescheibe gegen den Femur feststellt, etwa durch einen eingeschlagenen Nagel. An der Patella ist dazu noch eine Art Einhak- oder Verankerungsvorrichtung vorhanden, so daß eine verhältnismäßig geringe Kraft genügt, die Patella in ihr festzuhalten (Fig. 1 u. 2)<sup>3)</sup>. Das Tier steht also, fast ohne Muskelzug<sup>3)</sup>, nahezu ausschließlich auf seiner Skelettkonstruktion, die zu gleicher Zeit die Aufgabe löst, eine vorzügliche Schritt-, Galopp- und Sprungmaschine zu sein. Dabei wird der Apparat während der verschiedenen Leistungen in ganz verschiedener Weise beansprucht.

Bei den Maschinen des Ingenieurs sind alle Teile zwangsläufig miteinander verbunden. Nur an wenigen Umschaltstellen, die vom Maschinenführer bedient werden, ist ein Wechsel, eine Variation in der Bewegungsform möglich. Maschinenkinematik ist Zwanglauflehre (*Reuleaux*).

Die tierische Kinematik muß man dagegen Freilauflehre nennen. Die Gelenke und sonstigen

<sup>1)</sup> Cit. n. du Bois Reymond, Handb. d. vergl. Physiol., herausgegeben von Winterstein.

<sup>2)</sup> Vgl. Martin, Lehrb. d. Anat. d. Haustiere Bd. II, 1914.

<sup>3)</sup> Das betrifft vor allem die Hinterbeine. Die Vorderextremität steht zwar in sich nur mit „Mitteln totter Führung“ fest; jedoch ist der Vorderkörper durch einen Muskel, Serratus ant. (s. unt.) wie in einem Gurt zwischen den Schulterblättern eingehängt. Vgl. Martin, l. c.

Verbindungen, die beim Tier die Konstruktionselemente aneinanderfügen, haben meist mehr als einen Freiheitsgrad. Es ist bezeichnend, daß das einseitige Lauftier Pferd stark zwangsläufig konstruiert ist, während wir selbst, der Mensch, das vielseitigste aller Wirbeltiere, nur an wenigen Stellen einen wirklichen Zwanglauf besitzen. Wir haben also in den tierischen Skelettgebilden sehr vielseitige, aber nichtsdestoweniger sehr „durchgearbeitete“ Konstruktionen vor uns.

Konstruktion heißt uns bei allen diesen Sätzen ein Nebeneinander von Teilen, die aufeinander abgestimmt sind, miteinander *harmonisieren*. Der Begriff des Harmonischen ist uns besonders wichtig. Er ist zu einem Zentralbegriff der Biologie geworden.

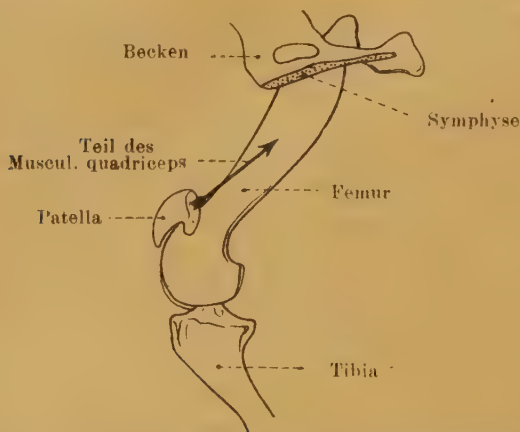


Fig. 1. Verankerung der Patella auf dem medialen Condylus beim Pferde. Ansicht von medial. (Nach Martin.)

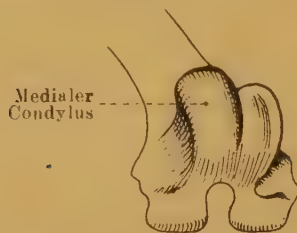


Fig. 2. Ansicht des distalen Femurendes von vorn. (Nach Martin.)

Was wir bisher erörtert haben, waren sozusagen die Fragen der reinen Leistung und ihre Verwirklichung in der Konstruktion der Skelettmuskelmaschine. Material, Knochen, Knorpel, Bandgewebe usw. steht in verschiedenster Art zur Verfügung, und so scheinen der Lösung irgendwie besondere Schranken nicht gesetzt zu sein. Es kommt aber ein interessantes Problem hinzu, das wir als das Raumproblem in der Konstruktion bezeichnen können.

Zwar ist der Habitus des Tieres, seine Gestalt, der Anblick, den es bietet, seine Bewegungsweise in hohem Maße von seinem konstruktiven Aufbau abhängig. Mir schwebt ein Satz von Goethe vor, den ich allerdings in seinen Schriften über Osteologie und Morphologie nicht habe

finden können, „es sei nichts in der Haut, das nicht im Knochen sei“. Aber das in diesem Satz angedeutete Verhältnis können wir auch umdrehen. Es ist bekannt, daß es eines immerhin geübten Auges bedarf, um z. B. im nackten Menschenkörper die Konstruktion zu sehen. Außen ist doch eigentlich alles ganz schön glatt und rund, und nur gewisse Linien und Schatten deuten die Konstruktion an. Diese glatte und geschlossene Außenseite ist eben ein Bauprinzip, etwas, das als ein besonderer Teil der gesamten Bauaufgabe gegeben ist. Sie folgt nicht aus der Konstruktion des mechanischen Apparates selbst. Es geht eben nicht an, Hebel, Winkel und Fortsätze aus der Maschine herauszubauen. Was das Tier außen an Fortsätzen trägt, ist zum Teil Werkzeug, in dessen Dienst die mechanische Konstruktion steht, teils aufgesetztes Ornament von im einzelnen unbekannter Bedeutung.

Wir wollen diesen einengenden Bedingungskomplex die Forderung nach der geschlossenen Außenkontur nennen. Die Kopfkonstruktion eines Kabeljau mag als Beispiel dienen (Fig. 3).

Wir haben den eigentlichen Schädel, an dem das Visceralskelett — dazu gehört der Kieferapparat — aufgehängt ist. Vom Zungenbeinapparat, der dem Kieferapparat konstruktiv und kinematisch angeschlossen ist, wollen wir absehen und nur die eigentliche Greif- und Haltezange betrachten. Sie besteht aus nicht weniger als neun gegeneinander beweglichen Teilen. Das ist zunächst der Schädel, der am Vomer Zähne trägt, und den wir

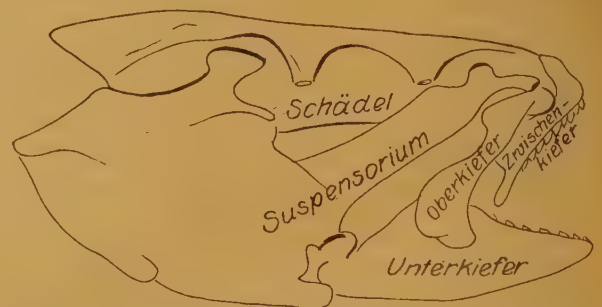


Fig. 3. Kieferapparat vom Kabeljau. Rechte Seite allein gezeichnet, Schnauzendach entfernt. (Nach Petersen 1914.)

als Grundglied betrachten. Dann gehören dazu zwei Kiefersuspensorien, zwei gegeneinander bewegliche Unterkieferhälften, zwei Zwischenkiefer, zwei Oberkiefer. Dieser Komplex wird durch ein Heer von Gelenken, Bändern und Muskeln vereinigt. Er ist in einen Kegel oder eine Pyramide hineingebaut und auf der Rückenseite sogar mit einer Verschalung versehen (Schnauzendach). Das hat seine ganz bestimmte Bedeutung. Wenn wir uns daran erinnern, daß man dem ins Wasser eingetauchten Teil eines Schiffsrumpfes eine glatte und zugespitzte Form verleiht und keine Balken und Winkel daraus hervorstehen läßt, so wird uns die Bedeutung dieser Einrichtung klar.



Dies Beispiel möge genügen, um zu zeigen, wie der eigentliche Körperbau durch die Kombination zweier Probleme in der gestellten Aufgabe zustande kommt, dem eigentlichen Konstruktionsproblem und dem Problem des Raumes, den diese Konstruktion einnehmen darf, der wohl vielfach sein Gepräge von ihr erhält, der jedoch ebenso gut seine eigenen Gesetze und Bedingungen hat.

Wenn wir durch einen zoologischen Garten gehen oder durch die Räume eines Museums, so sehen wir eine Menge verschiedener Tiergestalten. Jede ist die fertige Lösung einer konstruktiven Aufgabe. Wie wird diese denn nun aber gelöst, wie macht der Körper das, wenn er eine solche Konstruktion ausführt?



Fig. 4. Querschnitt durch einen menschlichen Embryo. Zwischen den Organanlagen des Mesenchym, das in der Extremitätenknospe besonders dicht ist (Blastem). (Aus Petersen, Histologie u. mikrosk. Anatomie, J. F. Bergmann, 1922.)

Jede dieser Gestalten beginnt mit einer Zelle. Aus ihr entwickelt sich der Embryo. Dieser hat zunächst kein Skelett, selbst nicht zu einer Zeit, wo die meisten Organe schon erkennbar sind. Die Entwicklung des Skeletts in einem solchen Embryo ist für uns die Lösung eben der konstruktiven Aufgabe, deren Natur anzudeuten die bisherigen Ausführungen dienen sollten.

In dem Stadium, von dem wir ausgehen, besteht der Embryo aus Zellen, die Epithelien entsprechen. Zwischen diesen Organanlagen breitet sich nun ein sehr merkwürdiges Gewebe aus, das wir mit dem Namen „Mesenchym“ bezeichnen. Es besteht aus verzweigten Zellen, die miteinander zusammenhängen, ein Netz bilden.

Zwischen ihnen liegt eine teils wirklich flüssige, teils gallertartige Grundsubstanz (Fig. 4).

Dieses Mesenchym füllt alle Lücken zwischen den Epithelien aus, es bildet ein *Negativ* aller Organformen, also ein System von Platten, Wänden, Balken, etwa wie die Wände eines Hauses, wenn wir alle Organanlagen dazwischen wegdenken. In diesem System kristallisiert nun gleichsam das Skelett aus, in diese *bereits gegebene Architektur* werden Gebilde besonderer mechanischer Wirksamkeit, Träger, Bögen, Binder, Transmissionen hineingezogen, aus Knochen, Knorpel, Bändern und all den mechanischen Substanzen, über die der Wirbeltierkörper verfügt.

Diese Skelettstücke treten nun so in die Erscheinung, daß sich zunächst Verdichtungen im Mesenchym, Zellanhäufungen, bilden, durch die bereits die Form der künftigen Konstruktionsteile — allerdings noch unbestimmt — angedeutet wird. *Blasteme* nennen wir solche Anhäufungen. Diese Blasteme, die im Mesenchym auftauchen, sind der Mutterboden nicht nur für den passiven Teil, sondern auch an sehr vielen Stellen des Körpers für den aktiven Teil des Bewegungsapparates, für die Muskulatur.

Was sich nun im Laufe allmählicher Zellverschiebungen und histologischer Differenzierung herauswindet aus dem Urbrei des Mesenchyms und der Blasteme, ist, wie Sie wissen, die *typische Konstruktion der Art*, wie sie der Vater und die Mutter des betreffenden Embryos besitzen und sich im Laufe ihrer eigenen Embryonalentwicklung auf gleiche Weise aufgebaut haben. Die Art des Bauens und damit das Gebäude sind ererbt, d. h. sie sind abhängig von der Beschaffenheit der Eizelle und des Spermiums, die bei der Befruchtung zusammentrafen. Wie das der Fall ist, wollen wir hier nicht erörtern, es genügt uns, zu wissen, daß der Apparat, der die erblichen Charaktere bestimmt, in jeder Zelle des Körpers vollständig anwesend ist.

Jetzt taucht aber sofort die Frage auf, was denn dieser Erbapparat, dieser Reiseführer für die Entwicklung, so können wir sagen, enthalte. Was steht in dem Führer darin und wie steht es darin?

Der Reiseführer kann die Route genau vorschreiben, jede Wendung, jede Schrittzahl usw. enthalten. Die zu erreichenden Ziele sind genau und vollständig angegeben. Für die Entwicklung würde das heißen, daß jeder Punkt der Konstruktion in seinen Koordinaten festgelegt sei, jede Konturkurve genau verzeichnet, jeder Abstand ausgerechnet und genau der Weg, wie das alles zu erreichen sei. Die einzelnen Zellen und Zellgruppen trennen sich ja auf ihren Wegen, vorn werden Arme, hinten Beine aus den Extremitätenanlagen entwickelt. Man könnte sich vorstellen, daß bei jedem solchen Scheideweg die nicht zutreffenden Routen gleichsam durchgestrichen würden, nach einem festgelegten Schema, so daß das Ganze fest und starr abrollt und

jedes unweigerlich an seine vorbestimmte Stelle kommt.

Von ähnlichen Vorstellungen ist die Entwicklungsmechanik ausgegangen.

Die Vererbungslehre zeigt aber etwas ganz anderes. Die den Mendelschen Gesetzen folgenden Gene oder Faktoren oder Erbeinheiten entsprechen keineswegs anatomischen Einheiten, auch wenn man diese nach konstruktiv-physiologischen Gesichtspunkten abgrenzt. Eine oder sehr wenige Erbeinheiten können konstruktive, anatomische Mannigfaltigkeiten bestimmen. Das zeigt z. B. eine Hühnerrasse, das schwanzlose Kaulhuhn, das bei der Kreuzung mit anderen geschwänzten Rassen, diese Eigenschaft „Schwanzlosigkeit“ als durch einen mendelnden Faktor bedingt zeigt. Dabei ist aber nicht ein einfacher Defekt vorhanden, sondern das ganze Rumpfbau ist anders gebaut, da vor allem die den Anus umgebende Muskulatur Beziehungen zum Schwanzskelett hat<sup>4)</sup>. Man kann sagen, soweit wir in den Aufbau der Erbkonstitution bei Tieren und Pflanzen Einblick haben, so gehen anatomisch-konstruktive Einheit und Erbeinheit einander nicht parallel, noch viel weniger ist die Erbkonstitution ein Modell des fertigen Körpers. Jede anatomische Einheit hängt von mehreren Erbeinheiten ab und jede Erbeinheit wirkt bestimmend auf mehrere anatomische Einheiten ein.

Wir werden alsbald versuchen, ein Bild davon zu entwerfen, wie wir uns den Zusammenhang zwischen dem Ererbten, der Erbkonstitution, und dem funktionsbereiten Körper zu denken haben. Aus dem angeführten Fall können wir einstweilen nur entnehmen, daß *Erbeinheit und Konstruktionselement nicht zusammenfallen*.

Um die Formbildungsvorgänge völlig zu verstehen, müssen wir ein wenig ausholen. Wir müssen kurz die Lehre vom *harmonisch äquipotentiellen System* entwickeln.

Wir denken uns ein ganz einfaches Tier, einen Hydroidpolypen. Diese Tiere zeichnen sich durch ein großes Regenerationsvermögen aus. Zerschneiden wir einen Polypen, so regenerieren sich beide Teile zu einem ganzen Tier. Wir machen jetzt drei verschiedene Zerschneideexperimente (Fig. 5).

Was aus einem Stück bei den der Zerschneidung folgenden Formbildungsvorgängen wird, hängt also ganz von der Lage ab, die es im regenerierenden Stück hat. „*Jedes kann jedes*.“ Harmonisch äquipotentielle Systeme spielen nun in der Entwicklung eine bedeutende Rolle. Sie ermöglichen das, was man die Anpassung, die Ausgleichung, die Regulation in der Entwicklung nennt. Die Teile des Körpers sind aufeinander abgestimmt, das wird selbst gegen erhebliche Störungen durchgeführt und aufrechterhalten. In solchen regulierenden Systemen sind die Teile nicht

festgelegt auf eine bestimmte Marschroute, sondern das Schicksal, die „prospektive Bedeutung jedes Teiles ist eine Funktion seiner Lage im Ganzen“ (Driesch). Die regulativen Fähigkeiten des Organismus sind dabei nicht etwas, das irgendwie bei besonderen Ereignissen hinzutritt, sondern sie sind überall bei den Vorgängen des Lebens und so auch bei der Formbildung am Werke.

Wir machen jetzt den allerdings etwas kühnen Versuch, eine Antwort auf unsere Frage zu geben: Wie macht der Körper das, sich einen mechanischen Apparat zu bauen?

Die Konstruktion im ganzen ist ererbt, aber sie ist nicht bis in alle Einzelheiten vorgeschrieben, sondern auf irgendeine andere Weise gegeben. Wir können uns das vielleicht an einem Vergleich klar zu machen versuchen. Denken wir uns Orchester und Bühnenpersonal, das eine Oper aufführen soll. Es liegen aber keine ausgeschrie-

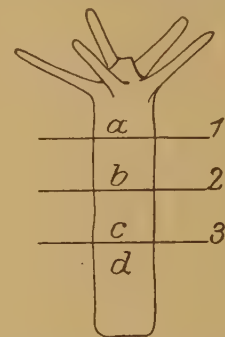


Fig. 5. Drei verschiedene Zerschneideexperimente an einem Stützwasserpolypen. (Im Anschluß an Drieschs Darstellung.)

Fall 1: Region a liefert Fuß, b Mund, c Tentakel, d unverändert.

Fall 2: Region a liefert nichts, b Fuß, c Mund, d Tentakel.

Fall 3: Region a liefert nichts, b nichts, c Fuß, d Mund, darunter Tentakel.

benen Stimmen für die Sänger und die Instrumente vor, sondern eine Art von unvollständigem Klavierauszug, in dem stellenweise vielleicht nur die Themen und Leitmotive stehen, stellenweise auch einmal gar nichts, wie bei den Koloraturpartien in einer italienischen Oper. Diesen etwas mangelhaften Auszug hat jeder Mitwirkende in der Hand, und nun geht die Sache ohne Probe und, was das Wichtigste ist, ohne Kapellmeister los. *Jeder muß sich also seine Stimme selber setzen, und das zum Teil erst, wenn sein Einsatz kommt.* Wir wollen den Vergleich nicht zu weit ausführen, es genügt hinzuzufügen, daß die Ausführung auch dann noch keine nennenswerte Stockung erfährt, wenn ein Sänger indisponiert wird oder ein Musiker ausfällt.

Es hat also jede Zelle und so jedes Blastem die ererbte Struktur bei sich, aber die Teile stehen in Verbindung und *viele Schritte werden erst im Augenblick des Schreitens bestimmt.* Im

<sup>4)</sup> Nach Du Toit, in Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaften, 1913, N. F. Bd. 42.



einzelnen gibt es da mannigfache und interessante Variationen; Variationen auch derart, daß eine größere Bindung der Teile an einen einmal eingeschlagenen Weg vorhanden ist, und größere Teile des Weges vorausbestimmt werden. Das Prinzip des harmonisch äquipotentiellen Systems kommt jedoch immer wieder zum Durchbruch. Nur so ist Anpassung der Teile, Regulation, Regeneration möglich.

Ein Festhalten an einem einmal eingeschlagenen Weg kommt nun in der Hauptsache in der Weise vor, daß ein Teil nicht dauernd dem Anstoß von außen bedarf, um irgendeine formbildende Leistung zu vollführen. Einen solchen Fall nennen wir Selbstdifferenzierung des Teiles.

Die Augenanlage in der noch offenen Medullarplatte zeigt Selbstentwicklung, transplantiert liefert sie ein Auge. Für die Beinknospe gilt dasselbe. Auch sie liefert am fremden Ort ein Bein. Und doch sind beide in sich regulierende Systeme vom Charakter des harmonisch äquipotentiellen Systems. Für die Augenanlage geht das aus den experimentellen Ergebnissen, auf die einzugehen der Raum leider nicht zu Gebote steht, hervor, für die Beinknospe ist es von Braus, neuerdings von Harrison und Detwiler ausdrücklich nachgewiesen. Ein regulierendes System hat sich also in einem Keim, der vorher ebenfalls ein solches war, selbständig gemacht. Es ist eine solche Aufteilung nach regulierenden Systemen mit immer kleinerer formbildender Aufgabe wohl überhaupt der Weg, nach dem die Entwicklung abläuft. Dennoch brauchen die so selbständig gewordenen, selbstdifferenzierenden Systeme nicht allen regulativen Verkehr untereinander abgebrochen zu haben.

Man kann hier vielleicht an einen Vorgang aus der Technik denken, aus der Fabrikation optischer Systeme für das Mikroskop. Jede Linse wird für sich hergestellt, ebenso die Fassung. Es bleibt jedoch eine Größe offen, nämlich ein Linsenabstand. Dieser wird erst bei der endgültigen Fertigstellung des Systems festgelegt. Dadurch wird das System einreguliert. Ein Bestimmungsstück, ein Parameter, ist also bei der Fabrikation offen gelassen. Tatsächlich passen sich auch im Körper des Erwachsenen die Organe aneinander, zumal wenn durch eine Störung eine neue Konstruktionsaufgabe durch Umbau zu lösen ist. Ein Organ kann in sich selbständig sein, jedoch sind eine Reihe offener Bestimmungsstücke da, deren Vorhandensein eben die Harmonie des Ganzen verbürgt. Dies alles sind Vermutungen, keine fertigen Lösungen. Da wir uns aber von vornherein auf das Problematische des ganzen Fragenkomplexes eingestellt hatten, so kann ich mich darauf berufen, daß hier die Forschung erst in den Anfängen steht.

Sie sehen, der Körper wird verhältnismäßig frei aufgebaut. Das Resultat ist dementsprechend. Es gibt keine zwei gleichen menschlichen Anatomien. Und doch wird mit großer Zähigkeit,

aber immer auf in gewisser Weise individuell selbständige Art, ein typisches, konstruktives, organisatorisches Ziel erreicht. Das macht auch die wiederholte praktische Beschäftigung mit der Anatomie des Menschen immer wieder in gewisser Weise reizvoll. Es ist etwas Ähnliches, wie mit der Betrachtung kunstgewerblicher handwerklicher Erzeugnisse; auch diese haben immer einen eigenen Reiz, der den Schablonenerzeugnissen der Fabrik abgeht. Wir können vielleicht unsere Frage darnach, wie der Körper seine Konstruktionsaufgabe löse, dahin beantworten: Was die letzten tragenden Einzelheiten angeht, durch die der konstruktive Gedanke erst wirklich, lebendig, tüchtig, leistungsfähig wird, ohne die der schönste Gedanke in der Praxis jämmerlich versagt, so löst der Körper seine Aufgabe selbst und auf seine individuelle Weise.

Wir haben bisher die Erörterung eines Problems umgangen, das gerade beim mechanischen Apparat von Bedeutung ist. Es ist dies das Problem des unmittelbaren Verhältnisses von Form und Art und Verteilung der angreifenden Kräfte zueinander. Das ganze Leben, so kann man sagen, modelt die Funktion am mechanischen Apparat, und wenn eine Verletzung, ein Knochenbruch, neue Bedingungen schafft, so wird gerade unter dem Einfluß der Funktion ein Erhebliches an Formbildung geleistet. Ich erinnere nur an den Verlauf der Knöchenspongiosa im schief geheilten Bruch, die sich den neuen Belastungsformen angepaßt hat.

Es muß dabei aber zunächst eins festgestellt werden. Die Belastung, die angreifenden Kräfte, wirken nicht unmittelbar formgebend. Es wird kein Knochen im Körper durch die Belastung zu einer konstruktiv wertvollen Lage gebogen, kein Band zurechtgezogen usw. Wirkt die Belastung einmal doch unmittelbar formgebend, und das tut sie, wenn sie die Elastizitätsgrenze des Materials überschreitet, so bedeutet das immer eine Zerstörung, eine schwere Beeinträchtigung der Konstruktion. Ich nenne nur die Spontanfraktur bei seniler Knochenbrüchigkeit, Verbiegungen der Knochen bei Osteomalazie und Rhachitis, den Plattfuß und den Senkfuß, um sofort gegenwärtig sein zu lassen, was gemeint ist.

Die Sache ist vielmehr folgende. Wenn die an der Konstruktion angreifenden Kräfte das Material der Konstruktionselemente nicht über die Elastizitätsgrenze belasten, so wirken sie dennoch auf das lebende Material, und zwar als Reiz. Entspricht die Kräfteverteilung, der Verlauf der Spannungen, der Konstruktion, so wirkt das als erhaltender Reiz. Sie wissen, ruhig gestellte mechanische Apparate des Tierkörpers erleiden Veränderungen in degenerativem Sinne. Entspricht die Belastung nicht der Konstruktion, so reizt sie zum Umbau, so, daß Belastungen und Aufbau in ein eindeutiges Verhältnis zueinander kommen. Die Belastung ist ein formerhaltender oder formbildender Reiz. Änderung der typischen Be-

lastung bewirkt Umbau der Konstruktion. Im ganzen fällt das nicht aus dem Rahmen der regenerierenden und regulierenden Prozesse heraus, nur daß hier Einflüsse auf das formbildende System wirksam sind, die nicht in ihm oder in Nachbarsystemen entstehen, sondern von außen kommen. Tatsache ist aber, daß der embryonale Körper den mechanischen Apparat ohne jede Funktion fertig stellen kann. Die Belastung kann erst wirken, wenn ein Apparat da ist, an dem sie angreifen kann, ohne ihn zu zerstören. Jede Froschlarve, die ihre Vorderbeine unter dem Operkulum verborgen fertig ausbildet, wo sie in starrer Beugstellung bewegungslos verharren, die auch gar nicht daran denkt, ihre Hinterbeine zum Schwimmen zu gebrauchen, wenn diese auch schon weit entwickelt sind, beweist das. Der embryonale Körper ist sehr wohl imstande, von sich aus, durch Vererbung und innere Regulation harmonisch-äquipotentieller Systeme, seine Knochen, Bänder und Gelenke in arttypischer

Gesperre getragen. Der Muskel wird einmal stark angespannt, dann schnappt das Gesperre ein, und ein geringer Muskelzug ist imstande, es festzuhalten. So etwas nennen wir zweckmäßig.

Wir wollen die Angelegenheit an einer graphischen Darstellung etwas näher beleuchten. Wir vereinfachen den zu betrachtenden Fall auf das möglichste, denn es kommt uns nur auf das Prinzip der Sache an (Fig. 6—8).

Denken wir uns ein Tier, dem wir ein Paar Sprungbeine anmessen sollen. Das Tier habe eine bestimmte Größe, der Körper hat dann die Masse  $M$ . Wir haben sie uns im Schwerpunkt  $S$  wirksam zu denken. Sie soll zunächst als konstant gelten.

Wir setzen nun an den Körper ein Paar Beine an, die in der Ruhelage, beim Sitzen des Tieres, in der bekannten Weise winklig geknickt sind (Fig. 6, ausgezeichnete Linie). Wenn das Tier nun einen Sprung macht, so streckt es mit großer Gewalt die Beine und kommt zum Schluß dieses



Fig. 6. Mechanische Analyse eines Springtieres.

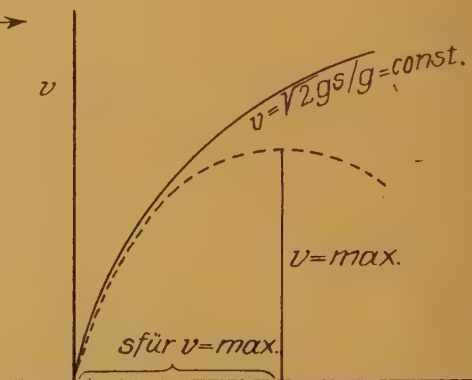


Fig. 7.

Weise und leistungsfähigem Zustand zu produzieren.

Das Resultat dieser ganzen formbildenden Leistungen ist zweckmäßig. Was heißt das? Wir müssen nach einem objektiven Maßstab der Zweckmäßigkeit suchen. Ich glaube, man kann das so formulieren: Zweckmäßig nennen wir etwas dann, wenn es einer Maximum-Minimum-Bedingung genügt. Ein Apparat ist z. B. dann im Vergleich mit anderen der zweckmäßigste, wenn er bei einem Minimum an aufgewandtem Brennstoff ein Maximum an Arbeit leistet. Das ist eine Beziehung, die sich ohne weiteres auf tierische Knochen-Muskel-Maschine anwenden läßt. Eine zweckmäßige Einrichtung ist z. B. ein Gesperre (Fig. 1). Wir hatten ein solches kennen gelernt, nämlich die Verankerung der Patella auf dem medialen Condylus des Femurs beim Pferde. Die Last des Hinterkörpers wird beim Stehen nicht durch einen dauernd in Spannung gehaltenen Muskel, sondern durch das

Vorganges in die punktiert gezeichnete Lage. Von diesem Moment an beginnt der eigentliche Sprung, das Tier verläßt auch mit der Fußspitze den Erdboden.

Den Vorgang bis zu diesem Augenblick nennen wir den Absprung, und der Weg, den der Schwerpunkt macht von der Ruhelage bis zum eigentlichen Sprungbeginn, den Absprungsweg  $S-S' = s$ . Das mechanische Problem ist nun ganz ähnlich wie das beim Schuß, etwa aus einer Kanone. Maßgebend für die Weite des Schusses ist ceteris paribus die Mündungsgeschwindigkeit. Diese wird dadurch erzielt, daß im Rohr die Pulvergase auf das Geschöß wirken, ihm eine Beschleunigung erteilen, so daß es beim Aufhören des Gasdrucks, beim Verlassen der Mündung, die Geschwindigkeit  $v$  hat, eben die Mündungsgeschwindigkeit. Bei gleichbleibender Beschleunigung  $g$  ist  $v$  um so größer, je länger das Rohr ist, daher die langen Rohre der weittragenden Geschütze.



Auf unseren Tierkörper wirken die Muskeln des Beines und erteilen ihm eine Beschleunigung,  $g$ , auf dem Wege,  $s$ . Nach der Gleichung der elementaren Mechanik ist  $v = \sqrt{2gs}$ . Diese Gleichung stellt bekanntlich die *Scheiteltgleichung einer Parabel* dar, wobei  $s$  oder  $g$  als Abszisse, bzw.  $2g$  oder  $2s$  als Parameter wählen können. Wir betrachten zunächst die Beschleunigung, die Muskelkraft, die einwirkende Muskulatur als *konstant* (Fig. 7).  $s$  ist unmittelbar abhängig von der Länge der Beine, wir setzen  $s$  gleich der Beinlänge. Dann drückt die Parabel  $v = \sqrt{2gs}$  die Abhängigkeit der Absprunggeschwindigkeit von der Beinlänge aus; je länger die Beine, desto weiter der Sprung.

Je *länger* wir nun aber die Beine machen, desto *schwerer* werden sie auch, und zwar wächst die Masse der Beine ( $\mu$ ) im Kubus der Beinlänge,  $\mu = s^3$ ! Nun lautet die Grundgleichung der Mechanik: Kraft gleich Masse mal Beschleunigung,  $g = \frac{K}{M + \mu}$ , die *Masse steht im Nenner*. Je länger wir also  $s$  machen, desto kleiner wird  $g$ , weil eine

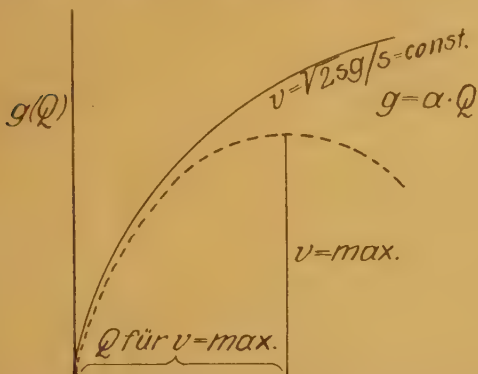


Fig. 8. (Die Ordinate muß  $v$  heißen, nicht  $g(Q)$ .)

größere Masse zu bewegen ist. Wir müssen also unsere Parabel umzeichnen, und da die Beinmasse sehr viel schneller wächst als  $s$ , so wird die durch die Beinverlängerung erzielte Geschwindigkeitszunahme bald überkompensiert, die Kurve senkt sich, wir erhalten eine Kurve mit einem Maximum. Damit haben wir die Beinlänge mit dem größten  $v$  gefunden (Fig. 7,  $s$  für  $v = \max.$ ).

Diese setzen wir jetzt als Parameter (Fig. 8) ein und variieren  $g$ , die Beschleunigung. Wir machen das, indem wir den Muskelquerschnitt vergrößern, dann ist der Muskel mit dem  $n$ -fachen Querschnitt  $n$ -mal so schwer.  $g = \frac{nQ}{M + n\mu}$ , d. h.  $g$  wächst nicht proportional dem Querschnitt, sondern langsamer und wird auch durch die Gewichtszunahme überkompensiert, da die dickeren Muskeln stärkere Knochenvorsprünge und sonstige Hilfseinrichtungen brauchen. Wieder müssen wir die Parabel umzeichnen, wieder erhalten wir eine Kurve mit einem Maximum. So haben wir eine zweckmäßige Beinlänge und einen zweckmäßigen Muskelquerschnitt gefunden.

Wenn wir noch bedenken, daß wir die Masse des Beines, Länge und Muskelquerschnitt nicht beliebig vergrößern können, ohne auch den Körper zu vermehren, so wird unsere Ableitung noch eindrucksvoller, denn auch alle Organe, die das Bein ernähren helfen, müssen dessen Größe angemessen sein. Ich kann ein Paar Känguruhbeine nicht an einen Mausekörper hängen.

Immer ist, und das wollte ich an einem Sachbeispiel zeigen, der zweckmäßige Fall als ein ausgezeichneter Punkt einer Funktionalbeziehung darstellbar. Für jede andere Beinlänge und jeden anderen Muskelquerschnitt gibt es immer eine zweite, die dieselbe Geschwindigkeit zur Folge haben würde.

Das ist für allgemeine Gesichtspunkte von besonderem Interesse. Es ist bekannt, daß man die Gesetze der Physik als Maximum-Minimum-Ausdrücke formulieren kann. Mach<sup>5)</sup> hat auf diesen Sachverhalt besonders hingewiesen und Petzold<sup>6)</sup> hat von hier aus die Brücke zur Erkenntnistheorie geschlagen. Dieser Sachverhalt ist nämlich kein Zufall, sondern er fällt mit dem zusammen, was man die Eindeutigkeit des Geschehens in der Natur nennt: Maximum-Minimum-Verhältnis, Einzigartigkeit, Eindeutigkeit, Gesetzmäßigkeit sind in dieser Weise dasselbe. Das ist uns die Brücke zu einem anderen Gedanken. Sie wissen, das Problem der Zweckmäßigkeit macht der Biologie schwer zu schaffen. Sie wissen, daß Darwin seine berühmte Zuchtwahltheorie aufgestellt hat, um das Zweckmäßige zu erklären. Wäre es nun nicht vielleicht möglich, das Problem so zu sehen, daß das Zweckmäßige eben deshalb zugleich das Wirkliche ist, weil es das Einzigartige, das Gesetzmäßige ist? In dem zweckmäßigen Aufbau kommt eben auch das Gesetzmäßige im Werden der Einzelform und der Art zum Ausdruck. Der Begriff der Regulation läßt sich von hier aus auch vielleicht seines etwas mystischen Beigeschmacks entkleiden. Ich möchte diese Gedanken jedoch nicht weiter ausspinnen, sondern ich verschanze mich hinter einem Wort von Goethe, das er in ähnlicher Angelegenheit am 13. Februar 1829 zu Eckermann äußerte: „Wie dieses geschieht, ist geheimnisvoll, schwer auszusprechen, aber ich könnte sagen, daß ich darüber meine Gedanken habe.“

Was uns an diesen Gedanken nun vor allem wichtig ist, ist dieses: daß sie uns dazu dienen können, eine Brücke zu schlagen von der Formbildungslehre und dem, was man die funktionelle Analyse oder Konstruktionsanalyse der tierischen Form nennen könnte, zur vergleichenden Anatomie.

Diese Brücke würde zunächst zu Gedanken hinführen, wie sie die ältere vergleichende Anatomie hegte. Diese suchte nach den Gesetzen der tierischen Organisation, nach Gesetzen, die für

<sup>5)</sup> Mechanik in ihrer geschichtl. Entwicklung.

<sup>6)</sup> Vgl. Einführung in die Philosophie der reinen Erfahrung I, S. 34 ff., Leipzig 1900.

die tierische Form überhaupt oder doch gruppenweise gelten. Für uns steht *Goethe* im Mittelpunkt dieser Gedankenwelt. Die tierische Form ist gesetzmäßig, einzigartig, ist ein Gleichgewichtszustand, denn alle Gleichgewichte sind durch Maximum-Minimum-Bedingungen charakterisiert. Der Gedanke eines solchen Gleichgewichts schwebte eben der älteren vergleichenden Anatomie vor. *Cuviers* Begriff der Korrelation ist nichts anderes, und auch Aussprüche *Goethes* deuten darauf hin. So steht in dem „Ersten Entwurf einer allgemeinen Einleitung in die vergleichende Anatomie, ausgehend von der Osteologie“ aus dem Jahre 1795 im IV. Abschnitt „Bei dieser Betrachtung tritt uns nun gleich das Gesetz entgegen, daß keinem Teil etwas zugelegt werden könne, ohne daß einem anderen etwas abgezogen werde und umgekehrt.“

Vielleicht werden wir oder spätere solche Gesetze der Organisation in ganz anderen Beziehungen suchen und finden als jene älteren, aber der Gedanke ist derselbe.

Der neueren vergleichenden Anatomie stand das Problem einer *Geschichte der Tierwelt* und der tierischen Organisation im Vordergrund. Sie glaubte es, durch reine Vergleichung lösen zu können ohne Kenntnis jener von den Älteren gesuchten Gesetze, ohne Kenntnis der Wege und Methoden, nach denen die Form jedesmal im Einzelfalle neu wird, noch auch dessen, was man die Gesetze der Vererbung nennt. Dieser Weg ist zunächst als ungangbar größtenteils aufgegeben worden. Es wäre aber verfehlt, wenn wir das viele, bleibend Wertvolle, das dabei zutage kam, im Stiche ließen, deshalb, weil wir eingesehen haben, daß auf ihm dem Geschichtsproblem fürs erste nicht näher zu kommen ist.

Auch in der neueren vergleichenden Anatomie scheint mir ein Punkt zu sein, an dem sich auch für die im vorstehenden entwickelten Gedanken Anknüpfungen bieten. Es ist das das Lebenswerk *Max Fürbringers*.

*Fürbringer* suchte den Gedanken der *vollständigen, Vergleichung* in seinen Studien durchzuführen. Man muß nicht, so war sein Gedanke, nur hier und da eine interessante Form für die Untersuchung herauspicken, sondern alles Erreichbare muß durchuntersucht werden, nicht nur an Arten, sondern auch Variationsart und Breite der einzelnen Organisationen muß festgestellt werden. So erhält man einen Überblick über den Formenschatz, der auf der Erde verwirklicht ist.

Sie merken, von diesem Gedanken aus ist der Weg zu dem von der tierischen Form als einer Gleichgewichtsform nicht weit. Es hat wenig Zweck, diesen Vollständigkeitsgedanken zu betätigen, wenn die tierische Organisation eine stetig unendliche Mannigfaltigkeit ist. Dann ist das eine Sisyphusarbeit. Wenn das tatsächlich Wirkliche aber immer ein ausgezeichnete Fall ist, jede tierische Form nicht nur durch geschichtliche

Zufälligkeiten, sondern durch eine Eigengesetzlichkeit bedingt ist, dann erhält die Form den Wert eines experimentellen Ergebnisses. Kann ich das Experiment selbst nicht eigentlich kontrollieren, so kann ich doch gleichsam statistisch verfahren und an dem, was vorhanden ist, an konkreten Formen, diese Gesetzmäßigkeit durchschimmern sehen. So wird dann die experimentelle Forschung ergänzt, ja ihr eigentlich erst das Material und die Probleme geliefert.

Gerade für solche Gedanken scheint mir der mechanische Apparat der geeignete Angriffspunkt zu sein. Wir vermögen hier die Form an einer unserem Verständnis durchaus zugänglichen Leistung zu verstehen und zu würdigen. Dies scheint mir einen besonderen Anreiz zu geben, sich zu befassen mit dem, was ich als Skelettprobleme in diesem Aufsatz auseinanderzusetzen versucht habe.

## Der Streit um das Elektron.

Von R. Bär, Zürich.

(Schluß.)

### II. Die neuen Untersuchungen.

§ 6. *Relative Atomistik.* Bei dieser Sachlage war es das Gegebene, sich vorerst zu bescheiden und zu sehen, was sich mit Hilfe der Ehrenhaft-Millikanschen Versuchsanordnung, die ja, wie wir sahen, eine Wage mit 10<sup>7</sup>mal größerer Empfindlichkeit darstellt als die feinste chemische Wage, noch über die Elektrizität aussagen läßt, wenn man alle zweifelhaften Annahmen über Gestalt und Dichte der Teilchen und über das Widerstandsgesetz ganz beiseite läßt. In der Tat läßt sich auch noch unter diesen einschränkenden Voraussetzungen entscheiden, ob die Elektrizität überhaupt eine atomistische Struktur besitzt oder nicht, während der eventuelle Absolutwert des elektrischen Elementarquantums dann nicht mehr ermittelt werden kann. Daß dies wirklich der Fall ist, zeigt folgende Überlegung: Wir denken uns ein elektrisch geladenes Teilchen (Ladung =  $e$ ) in unserem Kondensator dadurch freischwebend gehalten, daß wir die Schwerkraft  $mg$ , die das Teilchen nach unten zieht, gerade kompensieren durch eine gleich starke, aber nach oben gerichtete elektrische Kraft  $e\mathcal{E}$ , die wir erzeugen, indem wir eine entsprechende Potentialdifferenz an die Kondensatorplatten anlegen. Es gilt dann also:

$$mg = e\mathcal{E} \quad (7)$$

Wir wollen nun voraussetzen, daß die Elektrizität quantenhaft konstruiert sei und aus Atomen mit der Ladung  $+\epsilon$  und  $-\epsilon$  bestehe. Dann können nur Elektrizitätsmengen von der Größe  $\pm n\epsilon$  ( $n$  = ganze Zahl) in der Natur vorkommen. Wenn also unser in der Luft freischwebendes Partikel mehrfach umgeladen wird und dabei hintereinander eine Reihe verschiedener Elektrizitätsmengen  $e_1, e_2, e_3, \dots$  trägt, die zufolge



unserer Annahme Vielfache  $n_1, n_2, n_3, \dots$  der Elementarladung sein müssen:

$e_1 = n_1 \varepsilon; e_2 = n_2 \varepsilon; e_3 = n_3 \varepsilon \dots (n_i = \text{ganze Zahl})$  (8)  
so folgt aus (7):

$$mg = \varepsilon n_1 \mathcal{E}_1 = \varepsilon n_2 \mathcal{E}_2 = \varepsilon n_3 \mathcal{E}_3 = \dots \quad (9)$$

wobei  $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3, \dots$  diejenigen elektrischen Feldstärken bedeuten, bei denen das Teilchen, wenn es die Ladungen  $e_1, e_2, e_3, \dots$  trägt, gerade schwebt, d. h. keine Fall- oder Steigbewegung zeigt. Aus (9) folgt wegen  $\mathcal{E} = \frac{V}{300d}$ , wo  $V$  die in Volt gemessene, an die Kondensatorplatten (Plattenabstand =  $d$  cm) angelegte Potentialdifferenz bedeutet,

$$V_1 : V_2 : V_3 \dots = \frac{1}{n_1} : \frac{1}{n_2} : \frac{1}{n_3} : \dots \quad (10)$$

( $n_1, n_2, n_3, \dots = \text{ganze Zahl}$ )

als theoretisch notwendige und hinreichende Bedingung dafür, daß die Elektrizität eine atomistische Struktur besitzt. Nun lassen sich aber die Verhältnisse beliebiger Zahlen immer in dieser Form darstellen, z. B.  $47,0 : 71,1 = \frac{1}{711} : \frac{1}{470}$ . Es würde daher niemand einfallen, wenn gefunden würde, daß zwei Haltepotentiale eines Teilchens 47,0 Volt und 71,1 Volt betragen, hierin einen Beweis der atomistischen Struktur der Elektrizität zu erblicken. Dagegen verhalten sich die Zahlen  $47,5 : 71,1 = \frac{1}{3} : \frac{1}{2}$ , und man würde also das Versuchsergebnat  $V_1 = 47,5$  Volt,  $V_2 = 71,1$  Volt als einen Beweis der quantenhaften Konstitution ansprechen dürfen. Man sieht: solche Experimente haben eine um so größere Beweiskraft, je kleiner die ganzen Zahlen sind, mit denen man die Verhältnisse der Haltepotentiale darstellen kann. Kleine Zahlen  $n_i$  bedeuten aber, daß auf dem Teilchen nur wenige elektrische Elementarquanten sitzen. Wir können also nur dann hoffen, experimentell kleine ganze Zahlen  $n_i$  zu erhalten, wenn wir die kleinsten Ladungen, die wir dem Teilchen erteilen können, beobachten.

Ein weiterer Punkt bleibt zu berücksichtigen. Die Messungen der Haltepotentiale werden immer mit Meßfehlern behaftet sein, als deren hauptsächlichste die Brownsche Bewegung der Partikeln — die eine Bewegung eines Teilchens nach oben oder unten vortäuschen kann, wenn die elektrische Kraft genau gleich der Schwere ist — und die Fehler bei der Ablesung des Haltepotentials am Voltmeter im Betracht kommen. Namentlich der erstere dieser beiden Fehler ist experimentell nicht so leicht zu berücksichtigen. Nun hatten sowohl Joffé (1) als auch Meyer und Gerlach (2) schon im Jahre 1913 Versuche von der Art der hier beschriebenen angestellt, aus denen man in der Tat folgern durfte, daß die Elektrizität aus Atomen bestehe. Da aber bei diesen Versuchen erstens die ganzen Zahlen nicht immer hinreichend klein und zweitens die Meßfehler nicht immer genau bestimmt waren, so

durfte *Ehrenhaft* mit einiger Berechtigung erklären, daß diese Experimente nicht beweisend seien.

Um auch noch ein Maß für die Genauigkeit der Messung zu erhalten, modifizierten *Ehrenhaft* und *Konstantinowsky* die Methode derart, daß sie, statt das Haltepotential  $V_i$ , bei welchem das Teilchen die Ladung  $e_i$  hat, selbst zu bestimmen, dasselbe *einengten* zwischen einen zu kleinen Wert  $\underline{V}_i$ , bei dem das Teilchen gerade noch eine deutliche Fallbewegung zeigte, und einen zu großen Wert  $\overline{V}_i$ , bei welchem das Teilchen schon deutlich stieg. Da  $\frac{n_i V_i \varepsilon}{300d} = mg$  oder  $n_i V_i = 300d \frac{mg}{\varepsilon}$  ist, und da ferner  $\underline{V}_i < V_i < \overline{V}_i$ , so muß in diesem Falle jedes der sämtlichen Produkte  $n_i \underline{V}_i$  kleiner sein als jedes der Produkte  $n_i \overline{V}_i$ :

$$n_i \underline{V}_i < n_k \overline{V}_k \quad (i, k = 1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

der wirkliche Wert von  $n_i V_i$  muß also größer sein als die größte Zahl  $\underline{C}$  aller  $n_i \underline{V}_i$  und kleiner als die kleinste Zahl  $\overline{C}$  aller  $n_i \overline{V}_i$ . Man kann also etwa  $n_i V_i = \frac{C + \overline{C}}{2}$  setzen und berechnet dann für das Haltepotential  $V_i$  einen Wert

$$V_i^{\text{berechnet}} = \frac{1}{n_i} \frac{C + \overline{C}}{2}$$

der zwischen  $\underline{V}_i$  und  $\overline{V}_i$  liegen muß.

Damit haben wir folgende Prüfungsmöglichkeit für das Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein einer atomistischen Konstitution der Elektrizität: Wir erteilen einem Teilchen hintereinander eine größere Zahl verschiedener elektrischer Ladungen, die alle möglichst klein sein sollen und bestimmen die zugehörigen Werte  $\underline{V}_i$  und  $\overline{V}_i$ . Die Elektrizität ist nun dann und nur dann quantenhaft konstruiert, wenn sich jetzt solche kleinen ganzen Zahlen  $n_i$  finden lassen, daß alle Ungleichungen (11) erfüllt sind; und solche Messungen haben eine um so größere Beweiskraft, je enger die Grenzen  $\underline{V}_i$  und  $\overline{V}_i$  für  $V_i$  bestimmt sind und je größer die Anzahl der Ladungen ist, die gemessen wurden.

Der Verf. hat im Jahre 1918 auf Veranlassung von Prof. *Edgar Meyer* in Zürich derartige Versuche ausgeführt (3). In Tabelle 1 findet sich als Beispiel das Ergebnis einer solchen Messung an einem Aluminiumpartikel, an welchem 24 Ladungen gemessen wurden.

Man wird zugeben müssen, daß diese Tabelle einen *zwingenden Beweis für die atomistische Struktur der Elektrizität darstellt*. Da das Teilchen durch Bestrahlung mit ultravioletttem Licht aufgeladen, wobei ihm also negative Elektrizität entzogen wurde, und durch Ionisierung der Luft jeweils wieder entladen wurde, wobei es also positive Elektrizität, die aus der Luft stammte,

Tabelle 1.

Aluminiumpartikel Nr. 59.

 $\bar{C} = 1950$ ,  $\bar{C} = 1964$ ,  $n_i V_i = 1957$ .

| $V_i$                          | $\bar{V}_i$                    | $n_i$ | $n_i V_i$ | $n_i \bar{V}_i$ | $V_i$ berechnet  |
|--------------------------------|--------------------------------|-------|-----------|-----------------|------------------|
| 650                            | 655                            | 3     | 1950      | 1965            | 652              |
| 377                            | 395                            | 5     | 1885      | 1975            | 391              |
| 275                            | 284                            | 7     | 1925      | 1988            | 279              |
| 385                            | 395                            | 5     | 1925      | 1975            | 391              |
| 478                            | 495                            | 4     | 1912      | 1980            | 489              |
| 650                            | 655                            | 3     | 1950      | 1965            | 652              |
| 972                            | 982                            | 2     | 1944      | 1964            | 978 <sub>5</sub> |
| 641                            | 655                            | 3     | 1923      | 1965            | 652              |
| 485                            | 497                            | 4     | 1940      | 1988            | 489              |
| 389                            | 395                            | 5     | 1945      | 1975            | 391              |
| 275                            | 281                            | 7     | 1925      | 1967            | 279 <sub>5</sub> |
| 322                            | 330                            | 6     | 1932      | 1930            | 326              |
| 978 <sub>5</sub> <sup>1)</sup> | 978 <sub>5</sub> <sup>1)</sup> | 2     |           |                 | 978 <sub>5</sub> |
| 641                            | 656                            | 3     | 1923      | 1968            | 652              |
| 485                            | 509                            | 4     | 1940      | 2036            | 489              |
| 378                            | 395                            | 5     | 1890      | 1975            | 391              |
| 272                            | 281                            | 7     | 1904      | 1967            | 279              |
| 320                            | 330                            | 6     | 1920      | 1980            | 326              |
| 480                            | 499                            | 4     | 1920      | 1996            | 489              |
| 645                            | 672                            | 3     | 1935      | 2016            | 652              |
| 942                            | 990                            | 2     | 1884      | 1980            | 978 <sub>5</sub> |
| 645                            | 665                            | 3     | 1935      | 1995            | 652              |
| 275                            | 285                            | 7     | 1925      | 1995            | 279              |
| 77                             | 79                             | 25    | 1925      | 1975            | 78               |

aufnahm, beweisen diese Messungen gleichzeitig, daß das elektrische Elementarquantum dasselbe ist, ob die Elektrizität nun aus der Luft oder aus dem Aluminium stammt. Die Herren *Ehrenhaft* und *Konstantinowsky* (4) haben zwar gegen diese Versuche Einwendungen erhoben, aber der Verf. (5) (8) mußte dieselben als in jeder Beziehung vollkommen unbegründet zurückweisen. Wir halten damit die Frage nach der Konstitution der Elektrizität für erledigt und wenden uns jetzt zur zweiten wichtigeren Frage nach der absoluten Größe des elektrischen Elementarquantums.

§ 7. Das Widerstandsgesetz. Es handelt sich nun darum, den Widerspruch zwischen den Millikanschen und den Ehrenhaftschen Versuchsergebnissen aufzuklären; zu diesem Zwecke müssen wir untersuchen, ob die von *Ehrenhaft* bei der Ladungsmessung zugrunde gelegten, im § 2 genannten<sup>2)</sup> Voraussetzungen 1.—3.

<sup>1)</sup> Haltepotential, Teilchen war während 30 Minuten in Ruhe.

<sup>2)</sup> 1. Die Partikeln sind kugelförmig.

2. Ihre Dichte ist diejenige des kompakten Materials, aus dem sie hergestellt wurden.

3. Für die Bewegung der Partikeln im Erdschwerefeld und im elektrischen Feld gelten die Gleichungen (2), (3) und (4).

$$m g \cdot B = v_1 \dots \dots \dots (2)$$

$$(e \mathcal{E} - m g) B = v_2 \dots \dots \dots (3)$$

$$1 + A \frac{l}{a} \dots \dots \dots (4)$$

$$B = \frac{1}{6 \pi \mu a}$$

auch wirklich zutreffen. Unsere auf Nr. 3, d. h. auf das Widerstandsgesetz bezüglichen Ausführungen können wir kurz fassen. Wir sind nämlich der Ansicht, daß das von *Ehrenhaft* verwendete Fallgesetz wenigstens angenähert richtig ist, und wir wollen diese Ansicht nur im Hinblick darauf, daß man öfters gerade das Widerstandsgesetz für die Subelektronen verantwortlich gemacht hat, kurz begründen. Es handelt sich also darum, die Formel (4) zu rechtfertigen.

Für die langsame, stationäre Bewegung einer Kugel in einer Flüssigkeit gilt unter gewissen einschränkenden Voraussetzungen die sogenannte Stokesche Formel,

nach welcher  $B = \frac{1}{6 \pi \mu a}$  wird. Von diesen Vor-

aussetzungen sind in unserm Fall alle erfüllt bis auf eine, die besagt, daß die Diskontinuitäten, die in der Flüssigkeit vorhanden sind, weil dieselbe aus Atomen besteht, als unendlich klein gegenüber der Größe des Kugelradius vernachlässigt werden dürfen. In unserm Fall nämlich, wo sich die Kugel nicht in einer Flüssigkeit, sondern in einem Gase bewegt, wird diese Voraussetzung nicht mehr erfüllt sein. Ein Maß für die Größe der Diskontinuitäten im Gase gibt die freie Weglänge  $l$  der Gasmoleküle, und das Verhältnis  $l/a$  zeigt (der Radius des kugelförmigen Partikels), mit welcher Annäherung die Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Stokeschen Formel erfüllt ist. Da für Luft von Atmosphärendruck  $l = 1 \cdot 10^{-5}$  cm ist, und da die zur Messung gelangenden Partikeln einen Radius haben, der auch ungefähr von dieser Größenordnung ist, so ist in der Tat  $l/a$  nicht verschwindend klein, und daher muß die Stokesche Formel durch Anbringen eines Korrektionsgliedes  $A l/a$ , dem ersten Glied einer Reihenentwicklung

$$A \frac{l}{a} + A' \left( \frac{l}{a} \right)^2 + \dots \dots \dots (12)$$

modifiziert werden in

$$B = \frac{1 + A \frac{l}{a}}{6 \pi \mu a}$$

Dieses nur ungenau bekannte Glied  $A l/a$  spielt nun, weil  $a$  im Nenner vorkommt, eine um so größere Rolle bei den Ladungsmessungen, je kleiner der Teilchenradius ist. Während es bei den Millikanschen Experimenten wirklich nur als Korrektionsglied in Betracht kommt, ist sein Einfluß bei den Ehrenhaftschen Teilchen sehr wesentlich. Es wäre daher von vornherein durchaus möglich gewesen, daß große Fehler in der Ladungsmessung dadurch entstehen, daß *Ehrenhaft* die weiteren Glieder in der Reihenentwicklung (12) vernachlässigt. Nun zeigen aber eine Reihe von experimentellen Arbeiten, insbesondere die Versuche von *M. Knudsen* und *S. Weber* (6), daß mit zunehmendem  $l/a$  zwar höhere Potenzen von  $l/a$  in Betracht kommen, aber in so geringem Maße, daß sie auch für sehr großes  $l/a$  nur eine



etwa 50proz. Vergrößerung der Konstante  $A$  bewirken. Ferner hat der Verf. (7) das Widerstandsgesetz dadurch experimentell geprüft, daß er die Fallgeschwindigkeit desselben submikroskopischen Partikels bei verschiedenen Luftdrucken maß, indem er die Luft allmählich aus dem Kondensator wegpumpte. Dann wird die freie Weglänge  $l$  immer größer, und es fällt das Glied  $A/l$  immer mehr ins Gewicht. Auch dabei zeigte sich wieder, daß der Faktor  $A$  sehr angenähert konstant bleibt, und erst verfeinerte Messungen (8) ergaben eine kleine Zunahme von  $A$  mit wachsendem  $l/a$ . Was schließlich den numerischen Wert der Konstanten  $A$  anlangt, so folgt aus einer ganzen Reihe experimenteller Arbeiten, daß er zwischen 0,7 und 1,7 liegen muß.

Für sehr kleine  $l/a$  kann man das Widerstandsgesetz auch theoretisch ableiten, und es haben sich auch auf diesem Wege für  $A$  Werte ergeben, die recht gut mit den experimentell ermittelten übereinstimmen. Für mittelgroße Werte von  $l/a$ , die dem Experiment noch gut zugänglich sind, hat sich das Problem bisher mathematisch nicht lösen lassen, dagegen existieren für sehr große  $l/a$ , d. h. für Partikeln, die auch noch klein sind im Verhältnis zu den von Ehrenhaft verwendeten, wiederum theoretische Formeln, die namentlich von Lenard schon vor längerer Zeit gefunden wurden, und die neuerdings (9) von ihm durch verfeinerte Rechnung bestätigt werden. Dabei zeigt sich, daß die Formel (4) für sehr große  $l/a$  kontinuierlich in die Lenardsche übergeht, d. h., daß auch theoretisch der Faktor  $A$  für sehr große  $l/a$  ungefähr denselben Wert haben muß wie für kleine Werte. Man sieht, daß das Widerstandsgesetz tatsächlich annähernd bekannt ist. Ladungsunterschreitungen bis herab zu vielleicht 50 % der Elektronenladung können evtl. noch durch die nur ungenaue Kenntnis der Konstanten  $A$  erklärt werden, aber im Ehrenhaftschen Institute sind, wie erwähnt, von Fr. Parankiewicz Ladungen bis herab zu  $3 \cdot 10^{13}$  elst. E. gefunden worden.

Alle diese Überlegungen weisen darauf hin, daß das Widerstandsgesetz für das Auftreten der Subelektronen nicht verantwortlich gemacht werden darf. Im letzten Jahre ist diese sehr wahrscheinliche Vermutung nun durch Versuche, die Herr K. Wolter (10) angestellt hat, zur Gewißheit geworden. Herr Wolter ging von folgender Überlegung aus: Der einzig unsichere Teil im Widerstandsgesetz ist die Reihenentwicklung (12). Bei den Millikanschen Versuchen ist ihr Einfluß nur gering wegen des großen Radius der verwendeten Partikeln. Diesen Einfluß kann man aber ebensogut dadurch verkleinern, daß man die freie Weglänge  $l$  klein macht, d. h., da  $l$  umgekehrt proportional dem Gasdruck ist, daß man die Ladungsmessungen in einem komprimierten Gase ausführt. Beobachtet man also z. B. ein Ehrenhaftsches Teilchen von etwa  $5 \cdot 10^{-6}$  cm Radius bei 9 Atmosphären Luftdruck,

so ist der Fehler, den das Widerstandsgesetz in die Ladungsmessung hineinträgt, derselbe wie bei einem Teilchen von  $4,5 \cdot 10^{-5}$  cm Radius, das bei normalem Druck untersucht wird. Bei Teilchen dieser Größenordnung konnten aber große Ladungsunterschreitungen nie gefunden werden, sie dürfen also, wenn der Fehler in der Ladungsmessung am Widerstandsgesetz liegt, bei einem Teilchen von  $5 \cdot 10^{-6}$  cm Radius auch bei 9 Atmosphären Luftdruck nicht auftreten. Herr Wolter verglich also die Größe der Subelektronen, die er an Teilchen irgendeines Materials bei normalem Luftdruck erhielt, mit der Größe der Subelektronen bei Ladungsmessungen an Teilchen aus demselben Material, die bei 5 oder 9 Atmosphären Druck beobachtet wurden. Dabei zeigte sich — trotzdem eine Reihe von verschiedenen Materialien untersucht wurde — nie der geringste Einfluß des Luftdrucks auf die Größe der Ladungsunterschreitung. Damit war also ein erneuter Beweis für die Richtigkeit des Widerstandsgesetzes beigebracht. Nun gab es nur noch zwei Möglichkeiten: entweder lag in der Ehrenhaftschen Ladungsmessung der Fehler an der Dichte bzw. der Gestalt der Partikeln oder aber die Versuche sind einwandfrei und die Subelektronen haben reale Existenz. Der Beweis, daß die erstere Möglichkeit die richtige ist, war aber leicht zu erbringen.

§ 8. Die wirkliche Ladung der Ehrenhaftschen Partikeln. Wir haben bei Besprechung der Versuche zur Prüfung des Widerstandsgesetzes bemerkt, daß es möglich ist, dasselbe Teilchen bei verschiedenen Gasdrucken zu beobachten. Damit hat man aber ein Verfahren in der Hand, die elektrische Ladung eines solchen Teilchens lediglich unter der Voraussetzung des — hinreichend bekannten — Widerstandsgesetzes zu bestimmen, ohne irgendwelche Voraussetzungen über die Dichte machen zu müssen. Gleichzeitig hat man noch die Möglichkeit, die unbekannte Dichte selbst experimentell zu bestimmen, und kann auf diese Weise nachprüfen, in welchem Maße die Ehrenhaftsche Voraussetzung, daß die Dichte der Partikeln gleich derjenigen des kompakten Materials sei, erfüllt ist. Um dies einzusehen, bemerken wir folgendes: Hat man die Fallgeschwindigkeiten  $v_1$  und  $v_2$  des gleichen Teilchens bei zwei verschiedenen Gasdrucken, denen die freien Weglängen  $l_1$  und  $l_2$  entsprechen mögen, gemessen, so erhält man an Stelle der einen Gleichung (5)<sup>1)</sup> die zwei Gleichungen:

$$\frac{4}{3} \pi a^3 \sigma g = \frac{6 \pi \mu a v_1}{1 + A \frac{l_1}{a}} = \frac{6 \pi \mu a v_2}{1 + A \frac{l_2}{a}} \quad \dots (13)$$

$$1) \quad \frac{4}{3} \pi a^3 \sigma g = \frac{6 \pi \mu a v_1}{1 + A \frac{l}{a}} \quad \dots \dots \dots (5)$$

In diesen beiden Gleichungen kommen zwei Unbekannte vor, nämlich der Radius  $a$  und die Dichte  $\sigma$  des Partikels, d. h. wir haben ebenso viele Gleichungen wie Unbekannte. Wir können also Radius und Dichte berechnen und erhalten die Masse und damit auch die Ladung des Teilchens, ohne irgendwelche Voraussetzungen über die Teilchendichte gemacht zu haben. Solche Versuche (8) zur Dichte- und Ladungsbestimmung wurden angestellt an Platin-, an Selen- und an Paraffinpartikeln, die von derselben Größe waren wie die von Ehrenhaft verwendeten.

Wir wollen uns zuerst mit dem Resultat der Ladungsbestimmung befassen. Trotzdem die Ladungsmessungen an Teilchen aus derart verschiedenen Materialien angestellt wurden, und trotzdem nach einer besonderen Methode, deren Besprechung zu weit führen würde, immer unter vielleicht hundert Partikeln dasjenige ausgesucht wurde, das die kleinste Ladung zu tragen schien, so hatten doch alle diese Versuche das nämliche Ergebnis: Die elektrischen Ladungen der Teilchen stimmten innerhalb der Annäherung, mit der das Widerstandsgesetz bekannt ist, ausnahmslos mit der Elektronenladung bzw. einem kleinen Vielfachen ihres Wertes überein. Es zeigte sich keine Spur von jener unverständlichen Erscheinung — die Ehrenhaft zur Vermutung geführt hatte, daß es beliebig kleine Elektrizitätsmengen in der Natur gebe —, daß nämlich die elektrische Ladung eines Teilchens im Durchschnitt um so kleiner wird, je kleiner der Radius des Teilchens ist. Berechnete man andererseits — um zu prüfen, ob die Ehrenhaftschen Versuchsverhältnisse exakt reproduziert waren — auch noch die Ladungen der Teilchen auf Grund der unbewiesenen Ehrenhaftschen Annahme, daß die Dichte der Partikeln gleich der des kompakten Ausgangsmaterials sei, so zeigten sich, namentlich bei den Pt-Teilchen, die bekannten, mit abnehmendem Teilchenradius immer größer werdenden Ladungsunterschreitungen. Es lagen also wirklich die Ehrenhaftschen Versuchsverhältnisse vor.

Damit war bewiesen, daß die Elektronenladung wirklich das Atom der Elektrizität, d. h. die kleinste in der Natur vorkommende Elektrizitätsmenge darstellt, und

es war gleichzeitig der Fehler aufgedeckt, der für die Subelektronen bei den Ehrenhaftschen Versuchen verantwortlich zu machen ist, nämlich die falsche Annahme, daß die Partikeldichte gleich sei derjenigen des kompakten Materials.

Wenn diesen Versuchen auch keine große Genauigkeit eigen ist — Präzisionsmessungen werden sich an einem derartigen Teilchenmaterial wohl überhaupt nicht ausführen lassen —, so ist damit doch gezeigt, daß man prinzipiell die Möglichkeit hat, auch an

Teilchen, deren Dichte man nicht kennt, und über welche man auch keine Voraussetzungen zu machen braucht, noch Ladungsmessungen auszuführen. Wir bemerken auch, daß diese Teilchen eine hundert- bis tausendmal kleinere Masse haben als die Millikanschen Öltröpfchen. Damit wird die Tatsache, daß die Elektronenladung eine universelle Naturkonstante darstellt, besonders augenfällig. Während bei den Millikanschen Versuchen die Dichte der Partikeln bekannt sein muß und außerdem nur Teilchen eines beschränkten Größenintervalls zur Messung gelangen, sind wir hier von diesen Beschränkungen frei, insbesondere gelangen die kleinsten Teilchen, an denen sich überhaupt noch Versuche anstellen lassen, zur Beobachtung, und das Resultat ist doch immer das nämliche: es gibt in der Natur keine kleineren Elektrizitätsmengen als die Elektronenladung.

§ 9. Die Dichte der Ehrenhaftschen Partikeln. Was nun die Dichte der Partikeln anbetrifft, so zeigten die Versuche, daß sie einen von Teilchen zu Teilchen veränderlichen Wert hat, und zwar schwankte die Dichte der Platinpartikeln (Dichte des Pt = 21,4) zwischen 0,2—8,5, diejenige der Selenpartikeln (Dichte des Se = 4,45) zwischen 0,5—4,0, und die der Paraffinteilchen (Dichte des Paraffins = 0,879) zwischen 0,4—1,5. Es erhebt sich jetzt die Frage, wie sind solche große Schwankungen der Dichte und namentlich wie sind die extrem kleinen Werte derselben bei manchen Platinteilchen zu erklären? Hierzu ist folgendes zu sagen: Die Ehrenhaftschen Edelmetallpartikeln werden durch Zerstäuben bzw. Verdampfen im elektrischen Lichtbogen oder evtl. im Wechselstromfunken erzeugt. Dabei werden sie wohl in Fetzenform von den Elektroden abgerissen, oder aber die Partikeln kristallisieren, wenn sie im Lichtbogen flüssig und daher kugelförmig waren, beim Abkühlen aus und erhalten dadurch eine Gestalt, die bei den kleinsten Teilchen beliebig von der Kugelform abweichen kann und bei den größeren zum mindesten an der Oberfläche große Unebenheiten aufweisen wird. Dasselbe gilt auch mehr oder weniger von den durch Verdampfen erzeugten Selen- und Schwefelteilchen, wie überhaupt von allen Partikeln, die aus einem festen Material bestehen. Es ist klar, daß solche Teilchen zu genaueren Ladungsmessungen ungeeignet sind, und in der Tat konnten auch keine mit ihnen ausgeführt werden, selbst wenn die Teilchen von Millikanscher Größenordnung waren. Dieser Umstand mußte übrigens schon immer ein Hinweis sein, daß die Dichte bzw. die Gestalt der Partikeln die Subelektronen verschuldet, und nicht das Fallgesetz; denn sonst hätten sich an Teilchen Millikanscher Größenordnung, auch wenn sie aus einem festen Ausgangsmaterial hergestellt wurden, einwandfreie Ladungsmessungen anstellen



lassen müssen. Daß die Ladungsunterschreitungen mit abnehmendem Teilchenradius immer größer werden, ist selbstverständlich, denn dann fällt eben die unregelmäßige Gestalt der Oberfläche immer mehr ins Gewicht.

Wie läßt sich nun die Annahme einer unregelmäßigen Gestalt der Teilchen mit den Ehrenhaftschen Mikrophographien vereinbaren, die doch die Kugelform der Teilchen zu beweisen scheinen? Auf diesen Photographien sind nur die allergrößten der zur Ladungsmessung verwendeten Partikeln deutlich zu erkennen; bei diesen sind aber auch die gefundenen Abweichungen von der Elektronenladung nicht sehr beträchtlich. Die großen Ladungsunterschreitungen zeigen sich erst an den kleineren Teilchen und auch unter diesen wiederum nur bei einem unter vielleicht hundert Partikeln. Dieses eine, das nun eine außergewöhnliche Gestalt oder eine besonders kleine Dichte besitzt, kann man zwar, wie erwähnt wurde, zur Ladungsmessung isolieren, auf den Mikrophographien würde es aber, selbst wenn es viel deutlicher sichtbar wäre, als dies tatsächlich der Fall ist, doch unter der Masse der normalen Partikeln verschwinden. Wir müssen daher die Frage, ob die auffällig kleine Dichte dieser Partikeln durch fetzenförmige Gestalt oder aber durch schwammartige Struktur zu erklären ist, unentschieden lassen.

Damit ist das Auftreten der Subelektronen an Partikeln aus festen Materialien aufgeklärt. Ehrenhaft hat aber auch an Quecksilber- und an Ölteilchen Ladungsmessungen angestellt bzw. anstellen lassen und auch dabei Subelektronen erhalten. Über die Versuche (11) an Ölparkeln können wir uns kurz fassen. Deren Ergebnisse stehen nicht nur im Widerspruch zu den Millikanschen Messungen an größeren Öltröpfchen, sondern sie sind auch unvereinbar mit den Versuchsergebnissen einer ganzen Anzahl anderer Autoren, die an ebenso kleinen Ölteilchen Ladungsmessungen ausgeführt und dabei ausnahmslos die Millikanschen Resultate, natürlich mit wesentlich kleinerer Genauigkeit, wiedergefunden haben. Der Widerspruch ist aber leicht aufzuklären. Er beruht nämlich auf der Nichtbeachtung der beträchtlichen, durch die Brownsche Bewegung dieser kleinen Partikeln entstehenden Fehler. Richtig interpretiert geben auch diese Messungen keinerlei Andeutung für die Existenz von Subelektronen.

Die Ehrenhaftschen Versuche an Quecksilberteilchen sind Gegenstand langer Diskussionen gewesen. Ehrenhaft erzeugte diese Partikeln durch Zerstäuben von Hg im elektrischen Lichtbogen. Bei Ladungsmessungen traten wieder Subelektronen auf, doch besaßen die Teilchen eine bei Quecksilberpartikeln verdächtige Eigenschaft: eine absolut konstante Masse. Aus thermodynamischen Gründen müßten solche Teilchen nämlich verdampfen, und zwar, wie E. Rie (12) ausgerechnet hat, mit einer besonders bei

solch kleinen Partikeln sehr großen Geschwindigkeit. Man hat also Grund zur Annahme, daß die Ehrenhaftschen Partikeln nicht aus reinem Quecksilber bestehen, sondern aus irgendwelchen chemischen Verbindungen, die sich im Lichtbogen infolge der hohen Temperatur bilden können. Einen weiteren Umstand, der dieser Vermutung sogar einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit verleiht, bildet die Tatsache, daß Silvey (13), Schidlof und Targonski (14) und Derieux (15) bei Ladungsmessungen an Quecksilberteilchen, die durch Verdampfen oder mechanisches Zerstäuben von Hg erzeugt worden waren, also mit großer Wahrscheinlichkeit aus reinem Hg bestanden, den richtigen Wert für die Elektronenladung und gleichzeitig jene von der Theorie geforderte Massenabnahme der Partikeln gefunden haben. Herr Ehrenhaft (16) glaubte früher die Massenabnahme der Teilchen von Schidlof und Targonski durch die Annahme erklären zu können, daß diese Partikeln gar keine Hg-, sondern Wasserteilchen seien, aber er hat sich inzwischen davon überzeugen müssen, daß die Tatsache des Verdampfens der Quecksilberpartikeln zu Recht besteht, was daraus hervorgeht, daß er selbst dem Quecksilber, aus dem er seine Teilchen neuerdings ebenfalls durch Verdampfung erzeugt, ein Promille Blei zusetzt, um die Partikeln massenkonstant zu machen (17).

Die Erscheinungen, die an durch Verdampfung oder mechanisches Zerstäuben von reinem Hg erzeugten Partikeln auftreten, sind freilich, wie besonders die erwähnten Arbeiten von Schidlof und Targonski zeigen, recht komplizierter Natur und durchaus noch nicht genügend geklärt. Die Partikeln erhalten nämlich, wenn sie längere Zeit im Gas schwebend gehalten werden, meistens eine konstante Masse. Dann zeigen sie, wie die Ehrenhaftschen Partikeln, Subelektronen. Man muß also annehmen, daß irgend ein Prozeß, über dessen Natur man vorerst nur Vermutungen äußern kann, an ihrer Oberfläche stattfindet, der sowohl die Dichte der Partikeln verringert — und so die Subelektronen hervorruft —, als auch die weitere Verdampfung der Teilchen verhindert.

§ 10. *Abschließende Bemerkungen.* Wir müssen noch einige Bemerkungen machen über die andern Methoden zur Größenbestimmung submikroskopischer Teilchen. Die wichtigste der übrigen Methoden ist die Größenbestimmung aus der Brownschen Bewegung der Partikeln. Diese Methode ist, wie oben erwähnt wurde, von jeder Annahme über die Dichte der Partikeln und über das Widerstandsgesetz unabhängig, und sie verdiente daher den Vorzug vor der Widerstandsgesetzmethode, wenn ihre Anwendung nicht so kompliziert wäre. Es muß eine überaus große Anzahl von Passagezeiten am einzelnen Teilchen gemessen werden, um daraus Masse und Ladung des Teilchens mit einiger Genauigkeit bestimmen zu können. Während nämlich bei der Wider-

standsgesetzmethode die Größe des Partikels aus dem Mittelwert aller gemessenen Fallzeiten berechnet wird, geschieht hier die Berechnung aus der Größe der Schwankungen der einzelnen Passagezeiten um diesen Mittelwert. In jüngster Zeit hat nun Herr *E. Schmid* (18) in einer sehr schönen, im Ehrenhaftschen Institut angestellten Experimentaluntersuchung die Brownsche Bewegung von Selenteilchen gemessen, wobei er bis zu 1500 Fallzeiten desselben Partikels registrierte. Dabei erhielt er für alle Teilchen, deren kleinste einen Radius von  $5 \cdot 10^{-6}$  cm hatten, Ladungswerte, die dem Millikanschen Wert für die Elektronenladung recht nahe kommen. Diese Übereinstimmung ist um so erfreulicher, als sie einen neuen Beweis für die Existenz des elektrischen Elementarquantums darstellt.

Die Ehrenhaftsche Methode der Größenbestimmung der Partikel aus der Farbe des von ihnen abgebeugten Lichtes ist von *Frl. E. Norst* (19) einer eingehenden Kritik unterzogen worden, auf die hier nur hingewiesen werden kann. Es ergibt sich, daß im allgemeinen die Farben der Teilchen zu wenig gesättigt sind, um darauf eine quantitative Größenbestimmung bauen zu können. Es ist sogar der Zusammenhang zwischen Teilchenradius und Farbe nicht einmal immer eindeutig. Schließlich ist die Methode auch deswegen anfechtbar, weil sie wiederum die Teilchen als kugelförmig voraussetzt und annimmt, daß dieselben die Dichte (bzw. die optischen Konstanten) des kompakten Materials besitzen.

Damit sind wir am Schluß unserer Ausführungen angelangt. Wir haben diejenigen — für das Endergebnis allerdings unwesentlichen — Punkte, die noch nicht klargestellt sind, ausdrücklich als solche erwähnt. Man muß trotzdem zu dem Schlusse kommen, daß der Streit um das Elektron endgültig entschieden ist: *Die atomistische Struktur der Elektrizität ist bewiesen*, und die Ladung des Elektrons in der Größe von  $4,774 \pm 0,005 \cdot 10^{-10}$  elst. E. muß als elektrisches Elementarquantum, als kleinste Menge, in der sowohl die positive als auch die negative Elektrizität auftreten kann, angesehen werden. Über die Natur des Elektrizitätsatoms, z. B. über seine Gestalt und über seine Masse sagen unsere Versuche freilich nichts aus. Aber eine Reihe von anderen physikalischen Beobachtungen gestatteten doch schon seit einiger Zeit, wenigstens vom Atom der negativen Elektrizität, dem Elektron, sich ein durchaus anschauliches Bild zu machen. Dagegen war die Natur der positiven Elektrizität bis vor kurzem ziemlich unklar. Erst die wunderbaren Versuche von *Rutherford* über die künstliche Zerlegung der leichten chemischen Elemente und die *Astonschen* Versuche über die allgemeine Isotopie, aus denen die exakte Ganzzahligkeit der Atomgewichte folgt, haben Licht in dieses Dunkel gebracht. Schon heute spricht eine Reihe schwer-

wiegender Gründe dafür, daß der positive Kern des Wasserstoffatoms, das sog. Proton, das Atom der positiven Elektrizität ist. Protonen und Elektronen stellen dann die Uratome dar, die Bausteine, aus denen alle übrigen chemischen Elemente aufgebaut sind, und die Vorstellung von der atomistischen Struktur der Elektrizität, obgleich ursprünglich hervorgegangen aus der Theorie von der atomistischen Struktur der chemischen Elemente, gewinnt nun eine viel tiefere Bedeutung als die letztere, da sich die atomistische Struktur der Elemente jetzt als Folge der atomistischen Struktur der Elektrizität herausstellt.

Man sieht, in welch schöner und harmonischer Weise die Ergebnisse der einzelnen getrennten physikalischen Forschungsgebiete sich ergänzen und ineinander passen. Wer sich freilich mit den Rätseln der Quantentheorie beschäftigt hat, der weiß, daß die Lösung eines Problems nur immer neue ungelöste Probleme aufzeigt, und der Physiker wird die endgültige Entscheidung im Streite um die Existenz des Elektrons nur deswegen begrüßen, weil sie ihm das Fundament gibt, um neue, ungleich tiefer liegende Probleme in Angriff nehmen zu können.

#### Literaturverzeichnis.

1. *A. Joffé*, Sitzber. d. bay. Akad. S. 19, 1913.
2. *Edgar Meyer* und *W. Gerlach*, Arch. d. Gen. 35, 398, 1913, und Ann. d. Phys. 45, 177, 1914.
3. *R. Bär*, Ann. d. Phys. 57, 161, 1918.
4. *F. Ehrenhaft* und *D. Konstantinowsky*, Ann. d. Phys. 58, 199, 1919.
5. *R. Bär* und *F. Luchsinger*, Phys. ZS. 22, 225, 1921.
6. *M. Knudsen* und *S. Weber*, Ann. d. Phys. 36, 981, 1911.
7. *R. Bär*, Ann. d. Phys. 59, 393, 1919.
8. *R. Bär*, Ann. d. Phys., im Druck befindlich.
9. *P. Lenard*, Ann. d. Phys. 60, 329, 1919 und 61, 665, 1920.
10. *K. Wolter*, ZS. f. Phys. 6, 339, 1921.
11. *I. Parankiewicz*, Wien. Akad. Ber. 126, 1293, 1917, und Ann. d. Phys. 53, 551, 1917.
12. *E. Rie*, Ann. d. Phys. 63, 759, 1920.
13. *O. W. Silvey*, Phys. Rev. 7, 87, 1916.
14. *A. Schidlof* und *A. Karpowicz*, Arch. d. Gen. 41, Febr. 1916, *A. Targonski*, Arch. d. Gen. 41, März, April, Mai 1916, und *A. Schidlof*, Arch. d. Gen. 43, März 1917.
15. *J. B. Derieux*, Phys. Rev. 11, 203, 1918.
16. *F. Ehrenhaft*, Phys. ZS. 63, 759, 1920.
17. *F. Ehrenhaft* und *D. Konstantinowsky*, Ann. d. Phys. 63, 773, 1920.
18. *E. Schmid*, Wien. Akad. Ber. 129, 813, 1920, und ZS. f. Phys. 5, 27, 1921.
19. *E. Norst*, Verh. d. D. Phys. Ges. 1, 68, 1920.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Die Phosphatrohstoffe.

In Heft 44 des neunten Jahrganges dieser Zeitschrift, Seite 887, hat Herr Professor *V. M. Goldschmidt*, Kristiania, eingehende Darlegungen über die Phosphatrohstoffe veröffentlicht. Er geht in dieser Abhandlung davon aus, daß diejenigen Eisenerze, welche heute die Hauptquelle des Thomasphosphats sind, im Laufe des 20. Jahrhunderts größtenteils auf-



gebraucht werden, und spricht auf Grund eingehender Untersuchungen den vorhandenen Lagern von Rohphosphaten nur eine durchschnittliche Lebensdauer von 21 bis 70 Jahren zu. Wenn diese Befürchtungen zuträfen, so wäre die künftige Versorgung unserer Landwirtschaft mit phosphorsäurehaltigen Düngemitteln auf längere Zeit hinaus trübe zu beurteilen. Indessen ist vielleicht doch anzunehmen, daß die Goldschmidtschen Schätzungen in mancher Hinsicht zu pessimistisch sind. Es mag dahingestellt bleiben, ob die Annahme, daß die phosphorhaltigen Eisenerze im Laufe dieses Jahrhunderts größtenteils aufgebraucht sein werden, zutrifft, was immerhin zum mindesten nicht unzweifelhaft erscheint, jedenfalls ergeben aber die letzthin bekannt gewordenen Nachrichten, daß die Vorkommen an Rohphosphaten doch länger zureichen dürften, als Herr Professor Goldschmidt bei seiner vorsichtigen Schätzung glaubte annehmen zu sollen.

Die in der Welt vorhandenen abbauwürdigen Phosphatvorkommen sind noch zu wenig eingehend untersucht, als daß eine abschließende Schätzung ihrer Mengen möglich wäre. Für die Phosphate auf den Inseln des Stillen und Indischen Ozeans sowie in Westindien mögen die Annahmen der Goldschmidtschen Abhandlung zutreffen. Mit ziemlicher Gewißheit ist aber zu erwarten, daß in Nordafrika wesentlich größere abbauwürdige Mengen vorhanden sind. In seinen Schätzungen für Marokko und ebenso auch für das übrige Nordafrika ist Herr Professor Goldschmidt wohl nicht weit genug gegangen. Er veranschlagt die sicheren Reserven reicher Phosphate in Algier auf 17, in Tunis auf 36, zusammen auf 53 Millionen Tonnen, und zählt hierzu 100 Millionen Tonnen der wahrscheinlichen und möglichen Afrikareserven, zusammen also 153 Millionen Tonnen für schon heute abbauwürdig. Hierin sollen nicht nur die Vorkommen von Algier und Tunis, sondern auch die von Marokko und Ägypten enthalten sein.

In Marokko ist erst ein Vorkommen genauer erforscht, nämlich das zwischen dem Tal von Oued-Oumer-Rabia und der Straße von Tadla nach Casablanca, welches nach zwei Städten am östlichen und westlichen Ende gewöhnlich das von Ouedzem und El Bourourdj genannt wird. Dieses soll nach Angabe eines Fachblattes<sup>1)</sup>, die auf einem Bericht der Marokkanischen Bergbaubehörde beruht, allein 1000 Millionen Tonnen enthalten. Selbst wenn diese Schätzung sich als zu hoch erweisen sollte, ist doch mit Hunderten von Millionen Tonnen gewiß zu rechnen. Ferner sind in Marokko noch vier weitere Lagerstätten bekanntgeworden, wenn auch noch nicht genau erforscht, die teilweise ebenfalls sehr ausgedehnt und mächtig sind und bei denen man ebenfalls auf mehrere Hundert Millionen Tonnen rechnen darf.

Auf Grund von Angaben der Gesellschaften, die in Algier und Tunis arbeiten, wird man die dort abbauwürdigen Mengen zusammen bei sehr vorsichtiger Schätzung auf 110 Millionen Tonnen veranschlagen dürfen. Dazu kommt, daß in Ägypten wertvolle Lagerstätten aufgefunden sind und sich auch in Tripolis Vorkommen befinden sollen.

Setzt man für Marokko zunächst nur 200 Millionen Tonnen und für Ägypten und Tripolis zusammen 10 Millionen Tonnen ein, so käme man bei ganz vorsichtiger Schätzung für Nordafrika auf 320 Millionen Tonnen statt 153 Millionen Tonnen. Wahrscheinlich

sind aber die Vorräte um Hunderte, vielleicht um Tausende von Millionen Tonnen größer.

Für die Beurteilung des sogenannten „westlichen Phosphatgebiets“ in den Vereinigten Staaten von Nordamerika ist wesentlich, daß von dort im vorigen Jahr bereits Offerten für diese Phosphate in Europa vorgelegen haben, ein Zeichen dafür, wie leicht es möglich ist, daß auch diese größte Quelle von Phosphaten für den europäischen Bedarf erschlossen werden kann.

Berlin-Charlottenburg, den 4. Februar 1922.

Pietrkowski.

Auch ich halte es für wahrscheinlich, daß die marokkanischen Phosphatlagerstätten Bedeutung für den Weltmarkt gewinnen werden (vgl. meine Darlegungen in Heft 44, Jahrgang 9 dieser Zeitschrift). Ich habe jedoch diese Vorkommen nicht in vollem Umfange unter den „sicheren“, zahlenmäßig festgestellten, mitgerechnet, da zuverlässige Unterlagen für eine quantitative Beurteilung noch kaum vorliegen. Und gerade Phosphatlagerstätten bedürfen einer äußerst eingehenden Untersuchung als notwendige Unterlage einer zahlenmäßigen Beurteilung.

Herr Pietrkowski schätzt die nordafrikanischen Phosphatreserven auf mindestens 320 Millionen Tonnen, vielleicht auf tausende von Millionen Tonnen. Ich habe als „sicher“ 53—153 Millionen Tonnen angenommen, wozu noch 500—600 Millionen Tonnen als „Reserven weniger günstiger Lage und arme Phosphate, sowie zahlenmäßig unsichere Angaben“ kommen, hierin alle marokkanischen Vorkommen miteinbegriffen.

Ob man die Phosphatfrage „optimistisch“ oder „pessimistisch“ beurteilen soll, kann natürlich strittig sein.

Die heutige Phosphatwirtschaft beruht größtenteils auf einem Raubbau an ungewöhnlich reichen Lagerstätten, die eine billige Produktion hochprozentiger Phosphate erlauben. Aber es kann keinem Zweifel unterliegen, daß solche reiche Phosphatlagerstätten, ihrer ganzen geologischen Natur nach, nur an wenigen Orten vorkommen, und nicht unerschöpflich sein können.

Es ist sicher, daß die heutige Bewirtschaftungsweise der Phosphate noch mehrere Jahrzehnte fortgesetzt werden kann, aber diese Wirtschaft zehrt an einem sehr begrenzten Kapital, das im Besitze einiger weniger Mächte ist.

Vergleicht man die Weltreserven an Phosphat mit den Reserven an Steinkohle, gemessen am jährlichen Verbräuche beider Rohstoffe, so unterliegt es keinem Zweifel, daß die Phosphatreserven weit eher erschöpft sein werden als die Steinkohlenreserven. Hierbei muß man aber noch in Betracht ziehen, daß die Steinkohlen als Kraftquelle vielleicht von andern Energiequellen abgelöst werden können, während die Phosphate eine ganz unersetzliche Substanz sind.

Kristiania, den 26. März 1922.

V. M. Goldschmidt.

## Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

In der Sitzung am 7. Januar 1922 berichtete Professor Otto Nordenskiöld (Göteborg) über seine Reisen in Patagonien und Peru vom Sommer 1920 bis Herbst 1921. Von Lima aus wurde ein Abstecher in die südperuanische Kordillere gemacht, die sich zwischen den Küstenwüsten im Westen und den feuchten Tropenwäldern des Ostens hinzieht. Nach der Minenstadt

<sup>1)</sup> „The American Fertilizer“ Bd. 53, Nr. 8, vom 9. Oktober 1920



Cerro de Pasco, die in 4300 m gelegen als höchste Stadt der Erde gilt, führt über Oroya eine Eisenbahn, die in einem 4780 m hoch gelegenen Tunnel die Wasserscheide zwischen Stille und Atlantischem Ozean kreuzt, nur 100 km von dem ersteren, aber mehr als 3000 km von dem letzteren entfernt. Während zu unterst in den Tälern Zuckerplantagen und Obstplantagen sich aneinanderreihen, kommt man beim Ansteigen in immer ödere Regionen. Nach dem Passieren des Tunnels ändert sich die Landschaft mit einem Schlage. Die Hochflächen im Osten sind ein großes Viehzuchtgebiet, in dem die Rinderherden von indianischen Familien bewacht werden. Auch Getreide- und Kartoffelbau spielt hier eine Rolle. Oberhalb 4000 m, wo in jeder Nacht Frost eintritt, beginnt die Region der Schafe, die in noch größeren Höhen, in denen sie nicht mehr fortkommen, durch Lamas und Alpakas abgelöst werden. Ein in großer Höhe gelegenes Steinkohlenvorkommen ist hier von hervorragender wirtschaftlicher Bedeutung. Ausflüge in das vergletscherte Hochgipfelgebiet zeigten, daß auch in den niedrigeren Teilen überall Spuren ehemaliger Vergletscherung vorkommen, doch handelt es sich meist nur um eine dünne Moränendecke auf dem stark verwitterten Felsuntergrund.

In den weiter östlich gelegenen tieferen Urwaldregionen baut man namentlich Agave, Kaffee und Zucker, welch letzterer zu Branntwein verarbeitet wird. Eine zwei Wochen währende Fahrt auf Flößen führte den Rio Perene stromabwärts bis zu dessen Vereinigung mit dem Rio Ene. Beide bilden zusammen den Rio Tambo, einen der Quellflüsse des Ucayali. Diese Floßfahrt, an der 20 Weiße und 20 Indianer teilnahmen, war wegen der vielen Stromschnellen — das Gefälle beträgt 300 m auf 200 km — reich an Zwischenfällen. Daß der Fluß schon früher einmal von Missionaren befahren wurde, beweist eine große, zur Hälfte aus dem Wasser hervorragende Kirchenglocke, die dort früher verloren gegangen war. Hier leben wenig bekannte Indianerstämme, die einen Übergang von den Wald- zu den Bergindianern darstellen. Merkwürdig sind hohe, im Binnenlande vorkommende Pfahlbauten, die bisher nicht bekannt waren. Der Rückweg nach Lima führte wesentlich durch tropischen Urwald und Hochgebirgswald.

Nach Erledigung dieses ersten Abschnitts seiner Reise fuhr Nordenskiöld zu Schiff längs der Küste südwärts bis zum Golfo de Peñas in 47° Süd, um von dort aus einen Vorstoß zum Rande des patagonischen Gletschergebietes zu machen, das hier nahe an die Küste herantritt. Es handelte sich um die Erforschung der Existenzbedingungen jenes ausgedehnten, 700 km weit in der Nord-Süd-Richtung sich erstreckenden Eisfeldes, das außerhalb der Polargebiete die längste zusammenhängende Eismasse der Erde darstellt. Am Meeresstrande findet sich eine üppige Vegetation von immergrünen Buchen, die mit dichten Hüllen von Moos und Kräutern überwachsen sind, so daß sie Dicken bis zu 6 m erreichen. Auch die Bodenvegetation ist stark entwickelt. Die Waldgrenze wurde in 250 m, ein Gebirgskamm in 700 m Höhe passiert, und der dahinter liegende Eisrand nun 1½ Monate lang eingehend untersucht. Von den westlichen Ausläufern des Eises mündet der San Rafael-Gletscher in einen See. Der südlicher gelegene, mehr als 10 km breite San Tadeo-Gletscher wurde genau vermessen. Er gehört dem Typus der Vorland- (Piedmont-) Gletscher an. Das große Eisgebiet selbst ist nicht als Inlandeis aufzufassen, sondern es ähnelt dem Spitzbergentypus.

Merkwürdig waren ertrunkene Wälder und große umgebogene Rasenstücke mit durchgepreßten Steinen, die auf eine gewaltige umformende Kraft in der Gegenwart hindeuten, für die jedoch bisher jede Erklärung fehlt. Die meteorologischen Beobachtungen ergaben eine mittlere Lufttemperatur von etwas unter 10° für den wärmsten Monat. An 50 Tagen wurden rund 1000 mm Regen gemessen. Auch die Vegetationsverhältnisse deuten darauf hin, daß wir es hier vielleicht mit der niederschlagsreichsten Gegend der Erde außerhalb der Tropen zu tun haben. In den Küstengewässern finden sich keine Fische, weshalb auch Seevögel völlig fehlen.

In der Fachsitzung am 23. Januar hielt Professor A. Merz (Berlin) einen Vortrag: **Die ozeanische Zirkulation mit besonderer Berücksichtigung des Atlantischen Ozeans.**

Messungen der physikalischen Eigenschaften des Meerwassers in der Tiefe blieben lange vereinzelt und ungenau, beschränkten sich zudem meist auf Bestimmungen der Temperatur. *Alexander von Humboldt* ist der erste, von dem wir Äußerungen über die Wasserzirkulation im Weltmeere besitzen, die sich auf Beobachtungen stützen. Er nahm (1814) warme, nach den Polen gerichtete Oberflächenströmungen an, denen in der Tiefe kalte Strömungen nach dem Äquator entsprechen sollten. Ein wesentlicher Fortschritt wurde 1847 durch *Lenz* erzielt, der auf einer Weltreise Messungen in der Tiefe ausführte und feststellte, daß unter dem Äquator die Temperatur in geringen Tiefen niedriger ist als in den Subtropen. Nach ihm ist die Wasserzirkulation im Weltmeere durch Temperaturdifferenzen bedingt. Einer aufsteigenden Bewegung unter dem Äquator entspricht eine absteigende in höheren Breiten. *Ferrel* hatte eine ähnliche Auffassung, doch führte er den ablenkenden Einfluß der Erdrotation in die Theorie der ozeanischen Zirkulation ein. *Carpenter* wies darauf hin, daß auch der wechselnde Salzgehalt sowie der Wind Gleichgewichtsstörungen hervorrufen. *Maury* war der Meinung, daß die Salzgehaltverteilung der thermischen Zirkulation entgegenwirke, die Temperaturverteilung aber doch das Ausschlaggebende sei. *James Croll* betonte in den Jahren 1870 bis 1875, daß die Wirkungen der Temperatur- und Salzgehaltverteilung unbedeutend seien gegenüber dem Wind, der als Hauptursache der Meeresströmungen anzusprechen sei. Er treibe das Wasser nach höheren Breiten, so daß der Effekt der gleiche ist, wie ihn das thermische Zirkulationsschema veranschaulicht.

Die Resultate der „Challenger“-Expedition 1872 bis 1876 wurden zunächst als Bestätigung dieser weitverbreiteten Auffassung betrachtet, bis *Buchanan* 1885 und *Buchan* 1895 die Ergebnisse ohne vorgefaßte Meinung objektiv durcharbeiteten und den Nachweis erbrachten, daß die vertikale Verteilung von Temperatur und Salzgehalt in Wahrheit ganz anders ist, als man bisher angenommen hatte. Im Äquatorialgebiet liegt unter einer salzärmeren Oberflächenschicht salzreicheres Wasser, das aus höheren Breiten stammt. Darunter folgt in etwa 1000 m Tiefe salzärmeres, von Süden kommendes, in 2500 m wieder wärmeres, salzreiches, und darunter kaltes Tiefenwasser. Die bis dahin als durchgehend angenommene Vertikalzirkulation reicht also nur bis in geringe Tiefen von wenigen hundert Metern. Die Ergebnisse der Challenger-Expedition sind manchen späteren Forschern entgangen, und die Überzeugung von einer gleichmäßigen Salzgehalts- und



Temperaturabnahme mit der Tiefe war ziemlich fest eingewurzelt.

Der Vortragende hat es nun unternommen, unter Mitarbeit von Dr. G. Wüst das gesamte bisher vorliegende Beobachtungsmaterial für den 30. Meridian westlicher Länge kritisch durchzuarbeiten. Von den Ergebnissen, die den Inhalt einer besonderen Veröffentlichung bilden werden, und deren Einzelheiten zu ihrem Verständnis die Betrachtung der von dem Vortragenden ausgestellten Profiltafeln voraussetzen, seien hier nur einige hervorgehoben.

Die großartigste, tieferreichende Warmwasseransammlung findet sich um 30° Nord, eine schwächere in 20° Süd. Zwischen beiden wird die hocherwärmte dünne Oberflächenschicht durch kalte Wassermassen unterlagert. Diese Wärmeverteilung nun kann, wie eine Berechnung der Wärmezufuhr ergibt, nicht durch die Wirkung thermischer Kräfte erklärt werden. Ungeklärt ist noch das Problem, was mit den Wassermassen der beiden polaren Bodenströme geschieht. Wahrscheinlich dürften sie sich allmählich mit den über sie hinfließenden Wasserschichten vermischen.

Auf Grund der Salzgehaltsverteilung müßte ein Zirkulationssystem mit absteigender Bewegung in den Subtropen und Aufsteigen in Tropen und Polargebieten vorhanden sein. Dieser haline Kreislauf würde also dem thermischen gerade entgegen wirken. Den höchsten Salzgehalt weisen die Subtropen auf, besonders im Nordatlantischen Ozean. Eine große salzarme Zwischenschicht, die von dem antarktischen Oberflächenwasser herrührt, macht sich noch bis etwa 30° Nord bemerkbar. Unter dieser Zwischenschicht bewegt sich ein warmer und salzreicher, von dem nordatlantischen subtropischen Oberflächenwasser stammender Tiefenstrom von großer Mächtigkeit südwärts bis 40° Süd, um sich dann bis nahe an die Oberfläche zu erheben.

Die Zusammenfassung von thermischer und haliner Zirkulation ergibt in großen Zügen etwa folgendes Bild. Aus den Subtropen fließt warmes, salzarmes Oberflächenwasser von kaum 50 m Mächtigkeit den Tropen zu, unter dem eine Kompensationsströmung mit kühlerem, salzreichem Wasser, die bis etwa 150 m Tiefe reicht, zurückfließt. Es zeigt sich also, daß die alte Anschauung von einer Vertikalzirkulation mit einer durch Tausende von Metern aufsteigenden Wasserbewegung im Äquatorialgebiet unhaltbar ist, die Vertikalbewegung vielmehr auf einen kleinen Rest zusammenschrumpft. Diesem kleinen symmetrischen Kreislauf aber steht ein großartiger Wasseraustausch zwischen Nord- und Südhälfte des Atlantischen Ozeans gegenüber, indem die Wasserschichten bis etwa 1200 m Tiefe nordwärts, die Tiefenschichten südwärts strömen.

Dieser Zirkulationssinn steht in Übereinstimmung mit der Verteilung des Salzgehaltes (Süden salzarm, Norden salzreich) und widerspricht der Verteilung der Temperatur (Süden kalt, Norden warm). Die große haline Zirkulation wird gefördert durch die Winde, aber als primäre Ursache kann nur die Salzgehaltsverteilung in Betracht kommen, die trotz der entgegengesetzten Wärmeverhältnisse bedingt, daß das südatlantische Wasser leichter ist als das nordatlantische.

Zum Schluß ging der Vortragende noch kurz auf die rechnerische Prüfung der aus den Beobachtungen abgeleiteten Resultate ein. Die Berechnung fußt auf der Grundlage, daß zwischen 40° Süd und 30° Nord in etwa 1200 m Tiefe kein horizontaler Strom in meridionaler Richtung vorhanden ist, da oberhalb die Bewegung nordwärts, unterhalb südwärts gerichtet ist.

Es müsse demnach in der bei rund 1200 m Tiefe liegenden Niveauläche Druckgleichheit herrschen. Berechnet man nun unter Berücksichtigung aller Einflüsse der Dichte und der Kompressibilität des Meerwassers sowie des Unterschiedes von geometrischer und dynamischer Tiefe die Höhe der Meeresoberfläche über der Niveauläche in 1200 m Tiefe, so erhält man letzten Endes die Abweichungen der Meeresoberfläche von einer Niveauläche, aus der sich dann Richtung und Größe des Druckgefälles ableiten läßt. Es ergibt sich aus diesen Rechnungen oberhalb 1200 m im allgemeinen ein Druckgefälle von Süden nach Norden; unterhalb von Norden nach Süden, also eine Bestätigung des früheren Resultats. Allerdings superponieren sich andere wichtige Vorgänge diesen allgemeinen Bewegungen. Bemerkenswert ist das Auftreten je eines Druckmaximums in etwa 20°—30° Süd und etwa 30° Nord. Wichtig ist der Einfluß des Windes, der die Dichtezirkulation fördern oder hemmen kann. In meridionaler Richtung haben die Winde nur eine modifizierende Wirkung, dagegen können sie in west-östlicher Richtung von entscheidendem Einfluß sein. Dies gilt namentlich für die Passate, die auf der nördlichen Halbkugel aus Nordosten, auf der südlichen aus Südosten, mit großer Regelmäßigkeit und Stärke wehend, das warme Wasser quer über den Ozean treiben und es an der amerikanischen Ostküste anstauen, während an der afrikanischen Westküste als Ersatz kaltes Auftriebswasser emporsteigt. Der Vortragende zeigte dann, wie bei der Horizontalzirkulation die windbedingten Ströme unter dem Einfluß der Erdrotation einwärts gerichtete Komponenten besitzen, während die Dichteströme auswärts weisende Komponenten haben müßten.

Unterhalb des 1200-m-Niveaus herrscht ein allgemeines Druckgefälle vom Nord- zum Südatlantischen Ozean bis etwa 4000 m Tiefe.

Im Anschluß an den Vortrag legte Professor G. Schott (Hamburg) die Ergebnisse der ozeanographischen Arbeiten der Deutschen Antarktischen Expedition 1911—1912 vor, die von deren Mitglied Dr. W. Brennecke bearbeitet worden und soeben im Druck („Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte“, 39. Jahrgang, 1921, Nr. 1. VI, 216 Seiten. Mit 41 Textfiguren und 15 Tafeln) erschienen sind.

In der Sitzung am 4. Februar 1922 machte zunächst Professor W. Vogel (Berlin) einige Mitteilungen über die **Neuen Staatenbildungen in Vorderasien**, über welche selbst die neuesten Atlanten durch unrichtige Grenzführung und Verwechselung von Namen vielfach falsche Ansichten verbreiten. Die alten Großstaaten Osteuropas, Rußland, Österreich-Ungarn und die Türkei sind in eine Reihe von Einzelstaaten zerfallen. Insbesondere ist das türkische Reich durch den Vertrag von Sevres vom 10. August 1920 in zahlreiche selbständige Teile aufgelöst worden. Der Vertrag ist allerdings niemals voll zur Anerkennung gekommen und darf nur insoweit als Grundlage der politischen Karte gelten, als er die tatsächliche Macht- und Gebietsverteilung angibt. Der Reststaat der alten Türkei besteht jetzt aus dem größten Teil Kleinasien und der Umgebung von Konstantinopel. Das Gebiet um Smyrna ist Griechenland überantwortet worden, welches deswegen heute noch im Kampfe mit der Türkei liegt, während Italien nur der Besitz einer Inselgruppe, des Dodekanes mit Rhodos, zugestanden wurde. Die oft erwähnte Einflußzone Italiens in Süd-Kleinasien wird im Vertrag nicht genannt und besitzt keine tatsächliche Bedeutung. Die Ostgrenze des türkischen



Reiches ist noch unbestimmt, denn hier war ein Armenischer Staat vorgesehen, dessen Grenzen jedoch erst durch die Vereinigten Staaten von Amerika festgesetzt werden sollten. Vorläufig gilt hier der im März 1921 abgeschlossene Vertrag zwischen den Kemalisten und Sowjetrußland, wonach Batum an Georgien, Erzerum, Kars, Ardahan an die Türkei fallen, und nur Eriwan den Mittelpunkt eines mit Rußland „verbündeten“ Staates bildet. Als neue selbständige Staaten können betrachtet werden:

1. Georgien, 75 000 qkm, 3 Millionen Einwohner.
2. Aserbeidjan, die früheren russischen Gouvernements Elisabethpol und Baku umfassend. 60 000 qkm, 2,3 Millionen Einwohner. Dieser Staat ist in einem vielverbreiteten Atlas mit der benachbarten persischen Provinz gleichen Namens verwechselt worden.
3. Russisch-Armenien, das frühere Gouvernement Eriwan, dazu das autonome Territorium Nakhitschewan. Die Staaten 1—3 stehen unter Kontrolle der Sowjetregierung.
4. Das französische Mandatsgebiet Syrien ist viel größer als meist angegeben wird. 180 000 qkm, 3 Millionen Einwohner. Seine Südgrenze beginnt an der Küste des Mittelländischen Meeres nördlich von Akka und endet am Tigris. Innerhalb dieses Gebietes ist das Gouvernement Libanon als besonderes christliches Staatswesen begründet worden.
5. Das englische Mandatsgebiet Palästina soll zu einem jüdischen Staat ausgebaut werden. Es reicht ostwärts bis zum Jordan. 23 000 qkm, 650 000 Einwohner.
6. Mesopotamien, die Vilajets Mosul, Bagdad und Basra umfassend. 375 000 qkm, 2,9 Millionen Einwohner.
7. Arabien besteht aus einer Reihe von Einzelstaaten, von denen als wichtigste erwähnt seien: a) das Königreich Hedjas an der Westküste mit der Hauptstadt Mekka,  $\frac{3}{4}$  bis 1 Million Einwohner; b) südlich anschließend das Gebiet von Asir, 1 Million Einwohner; c) Yemen, an der Südwestecke, das fruchtbarste Gebiet des ganzen Landes; d) Britisch-Aden, 200 qkm, 46 000 Einwohner; das dazugehörige Protektorat ca. 23 000 qkm; e) im Südosten das Sultanat Oman mit der Hauptstadt Maskat, 200 000 qkm, 500 000 Einwohner; f) im Gebiete der Wahabiten das Emirats von Nedsched (Er Riyadh), welches vor kurzem das benachbarte Emirats von Hail im Dschebel Schammar sowie früher schon Hasa unterworfen hat; g) das Emirats von Kerak im Ostjordanland; h) das Sultanat von Koweit.

Den Hauptvortrag des Abends hielt Professor F. Kühn von der Universidad de Litoral in Argentinien über die Ergebnisse seiner Forschungsreisen in den argentinischen Gebirgen. Von dem uralten Kern Brasiliens des südamerikanischen Kontinentes ist ein großer Teil in die Tiefe gesunken und liegt heute unter den Schichten der Pampa begraben. Ein isolierter, stehengebliebener Teil jedoch ragt in der Puna de Atacama aus der Tiefe empor. Das präkambrische Alter ihrer Falten beweist, daß sie dem System der Anden nicht angehört, vielmehr etwa als ein ähnliches Gebilde zu betrachten ist wie der Baltische Schild in Europa. Im Chacogebiet hat man selbst durch Bohrungen bis zu 2000 m Tiefe den alten Kern nicht erreicht. Die Randfalten der Puna, die pampinen Sierras, sind Ge-

birgsruinen, die man etwa den deutschen Mittelgebirgen gleichsetzen kann. Dadurch, daß diese alten Falten seit dem Paläozoikum Festland geblieben sind, scheiden sie sich scharf von der jungen Hochkordillere, die erst am Ende der Tertiärzeit aus dem pazifischen Ozean auftauchte. Die aus der andinen Geosynklinale gebildeten Falten wurden nach Osten hin überschoben, die alten Rumpfflächen gehoben, gefaltet und zerbrochen. Die Erkenntnis dieser großen Züge des argentinischen Gebirgsbaues ist wesentlich der Tätigkeit deutscher Geologen und Geographen zu verdanken, von denen Stelzner, Brackebusch und Keidel hervorgehoben zu werden verdienen. Die Kordillere ist zwar eine geologische Einheit, aber ihr nördlicher Teil streicht in Neuquen nach Südosten aus und verschwindet durch Untertauchen unter die jüngeren Schichten. In der patagonischen Kordillere sind die mesozoischen Sedimente im Gegensatz zum nördlichen Teile zu metamorphen Gesteinen umgewandelt worden.

Nordwest-Argentinien ist bis zur Breite von 38° südwärts eine trockene Hochgebirgswüste; erst dort beginnt die Region der ständigen Westwinde, denen sich bei ihrem Umkreisen der Südhemisphäre Südamerika als einzige Kontinentalmasse entgegenstellt. An der Westküste erreichen daher die Regenhöhen 3000 mm im Jahre, während z. B. San Juan am Ostfuß der Kordillere in 31½° Süd nur 65 mm Niederschlag erhält, der sich auf drei Sommermonate verteilt. Die mittlere Kammhöhe der Hochkordillere in den Provinzen San Juan und Mendoza beträgt 5000 m, die Paßhöhen steigen über 4000 m. Bis zu dieser Höhe ermöglicht das Maultier die Bereisung. In größeren Höhen ist man auf sich allein angewiesen. Zu solchen Schwierigkeiten in der menschen- und weglosen Einöde gesellt sich die Bergkrankheit. Dutzende von Gipfeln ragen hier über 6000 m empor, am höchsten bis über 7000 m, der bereits mehrfach bestiegene Aconcagua, der höchste außerhalb Asiens gelegene Berg der Erde. Wegen der großen Trockenheit ist die Schneebedeckung überall nur gering. Die der Sonnenstrahlung ausgesetzte Nordseite des Aconcagua (ca. 32½° Süd) ist fast schneefrei; auf der Südseite reichen Firnfelder bis 4800 m hinab. Der 6800 m hohe Mercedario (32° Süd), der zweithöchste Berg Argentiniens, trägt keine Gletscher. Von den beiden Hauptketten der Kordillere bildet die westliche die Wasserscheide und dementsprechend auch die Grenze zwischen Chile und Argentinien. Die östliche aber ist die höhere, und sie trägt auch die Hauptgipfel. Zwischen beiden erstrecken sich tief eingeschnittene Längstäler, deren Flüsse in wilden Schluchten die Ostkordillere durchbrechen und in die Pampa hinausfließen, wo sie jedoch versiegen. Die Ostkordillere bleibt somit abflußlos, und eine breite Schuttlzone an ihrem Fuße ist das Ergebnis dieser hydrographischen Verhältnisse. Aber auch in der Kordillere selbst findet sich über der unteren Felslandschaft, dem Gebiete der rezenten Erosion, eine Schuttlregion, über der sich dann die Gipfelregion erhebt. Die baumlose Vegetation ist äußerst armselig. Nur harte Gräser, Dornestrüpp und Kakteen kommen in weiter Zerstreuung bis 4000 m hoch vor. In den Tälern setzt während des Sommers ein mäßiger Hirtenbetrieb ein. Trotzdem fesselt die Naturschönheit dieser ungastlichen Höhen. Die trockene Luft ermöglicht eine Fernsicht auf ungeheure Weiten, und die bunten Gesteine entzücken im Sonnenschein durch ihre Farbenpracht. Die intensive Sonnenstrahlung bewirkt die Umwandlung der Firnfelder in Tausende von einzelnen, bis 7 m hohen Schneefeldern, die Grup-



pen von weißgekleideten Büßern vortäuschen und daher dort Nieve de los penitentes (Büßersnee), in Deutschland meist Zackenfirn genannt werden. Sie bilden eine besondere Eigentümlichkeit des argentinischen Hochgebirges und weisen eine Neigung auf, die dem Einfallen der Mittagssonnenstrahlen parallel ist, sich also mit der geographischen Breite ändert. Im Laufe des Sommers schmelzen sie fort und bilden sich in jedem Jahr von neuem.

Eine andere Reise galt der südpatagonischen Kordillere, zu deren Erforschung die in Argentinien lebenden Deutschen im Jahre 1916 eine deutsche Expedition ausgesandt hatten. Die patagonische Kordillere ist dadurch ausgezeichnet, daß auf eine Erstreckung von mehr als 1000 km an ihrem Ostfuß eine Reihe von Seen sich hinzieht, während vom Pazifischen Ozean her die Fjorde der chilenischen Küste tief in das Land eindringen und sich bis zum Westfuß der Kordillere erstrecken. Das Innere der Kordillere selbst ist gänzlich unerforscht. In den tieferen Teilen machen Urwald und Sumpf, in den höheren ungeheure Eismassen die Verwendung von Maultieren unmöglich, so daß man allein auf Menschen angewiesen ist, von denen jeder sein eigener Träger für die Lasten sein muß, die nur in Etappen von Lager zu Lager gebracht werden können. Die Vereisung der zentralen Kordillere reicht weit über das Maß der gewöhnlichen Hochgebirgsvergletscherung hinaus, denn es handelt sich hier um eine mehr als 400 km lange und 50 bis 100 km breite zusammenhängende Eisbedeckung, die geradezu den Eindruck einer eiszeitlichen Vergletscherung macht. Zweifellos ist dies auch der größte, aus der Eiszeit herstammende Rest, der außerhalb der Polargebiete noch auf der Erde vorkommt. Die Expedition erzwang sich den Zugang vom Viedmasee ( $49\frac{1}{2}^{\circ}$  Süd) aus, der drei- bis viermal größer ist als der Bodensee. Der Viedmagletscher reicht bis in das Wasser des nur 200 m hoch gelegenen Sees hinab, wo er mit einer Eismauer von 30 m Höhe und 3000 m Breite abbricht. Daß sich hier durch den Vorgang der sogenannten Kalbung häufig große Massen von dem Gletscher lösen, darauf deuten die zahlreichen Eisberge hin, die im Wasser umherschwimmen und mitunter das 80 km entfernte Ostufer erreichen. In einiger Entfernung von der Gletscherwand ist ihm eine langgestreckte Insel im See vorgelagert, die eine frühere Stirnmoräne darstellt und beweist, daß der Gletscher früher weiter in den See hineingereicht hat. Große Schwierigkeit verursachte die Ersteigung der Kordillere, die hier in der Schieferzone kühne zackige Bergformen aufweist, z. B. den Fitz Roy ( $49^{\circ}$  Süd), den mächtigsten Berg Südpatagoniens und einen der imposantesten Gipfel der ganzen Erde, der 3400 m hoch mit 2000 m hohen Steilwänden emporragt und daher wohl unbesteigbar ist. Wenn es auch infolge des schlechten Wetters nicht gelang, das hier 50 km breite Gletschergebiet eingehender zu untersuchen, so hat doch die deutsche Expedition wichtige Beiträge zur Kenntnis dieses unerforschten Gebietes geliefert und viel dazu beigetragen, während des Weltkrieges im überseeischen Ausland dem deutschen Namen Ehre zu machen.

In der Fachsitzung am 20. Februar 1922 hielt Professor *Mildbraed* (Berlin) einen Vortrag über das **Afrikanische Regenwaldgebiet**, insbesondere den sogenannten Äquatorialwald. Das weitverbreitete Vorurteil, daß der Regenwald neben der Savanne nur eine untergeordnete Rolle spiele, gründet sich u. a. auf die von *Schimper* gegebene Vegetationskarte. Demgegenüber betonte der Vortragende, daß *Stanleys* Beob-

achtungen sich als richtig erwiesen hätten, und daß im Kongogebiete der Wald ziemlich geschlossen von  $4^{\circ}$  Nord bis  $4^{\circ}$  Süd reiche. 1500 mm Niederschlagshöhe genügen. Dagegen sind die vielfach angenommenen Galeriewälder längs der Flußläufe oft nicht vorhanden. Die nördlichen Zuflüsse des Kongo haben meist gar keinen Galeriewald, weil der Alluvialboden der Flüsse einer Waldentwicklung ungünstig ist. Nicht das Flußwasser selbst, sondern das durch Einschneiden des Flusses an den Hängen angeschnittene Grundwasser bedingt den Wald. Der Regenwald ist ein Mischwald, in dem reine Bestände äußerst selten sind. Im Kameruner Wald sind 400–500 Arten von Bäumen, 800 verschiedene Arten von Holzgewächsen festgestellt. Das Resultat des Kampfes um das Licht sind äußerst lange dünne Stämme, deren Kronen die mannigfaltigsten Formen zeigen, und in ganz verschiedene Höhen emporragen, wodurch eine äußerst unruhige Profillinie zustande kommt. Der ganze Wald bildet vom Boden bis zu den Gipfeln eine dichte Masse von Stämmen, Zweigen und Laubwerk, wofür *Jungkuhn* die Bezeichnung *horror vacui* geprägt hat. Die vielfach beschriebenen Etagen in der Höhe der Urwaldpflanzen treten im typischen Urwald nicht hervor. Im Unterwuchs herrscht der Strauch durchaus vor; die Krantdecke ist nur locker und fehlt häufig.

An der Hand schöner Lichtbilder erörterte der Vortragende einige Eigentümlichkeiten der Tropenbäume. Die Brettwurzeln dienen zur Verankerung der Bäume im Boden. Da die Stämme über 50, nicht selten bis 68 m hoch werden, so greift der die Krone erfassende Wind an einem langen Hebelarm an, weshalb die Wurzeln eine besondere Versteifung erfahren müssen. Sehr schön zeigte sich an einigen Bildern der Übergang der Brettwurzeln zu Stelzwurzeln. Eine andere Merkwürdigkeit ist die Stammblütigkeit, die sich darin kundgibt, daß die Blüten direkt aus dem Stamme in geringer Höhe über dem Boden hervorbereichen. Die Schopfbäume zeichnen sich durch einen Schopf von Blättern am Ende eines dünnen Stammes aus. Besonders kennzeichnend für den Regenwald sind die Lianen und Epiphyten. Erstere sind gelegentlich bandartig verbreitert. Zu letzteren gehören die Rotangarten, lianenförmig wachsende Palmen mit Klettergeißeln, die Widerhaken tragen. Epiphyten sind verhältnismäßig selten und man hat deshalb vielfach dem afrikanischen Regenwalde die Eigenschaft eines echten tropischen Regenwaldes nicht zubilligen wollen. Dagegen läßt sich jedoch anführen, daß auch die als solcher anerkannte *Hylaea* des Amazonasgebietes in Südamerika arm an Epiphyten ist. Häufig sind sie an den feuchten nebelreichen Gebirgshängen, z. B. in dem Bergwald der Insel Fernando Poo, wo sie bis zu 800 m Höhe emporsteigen. In Bachsümpfen gedeihen oft weite Bestände von Raphiapalmen, deren einzelne Wedel bis 20 m Länge, ein Fiederchen desselben mehr als 2 m Länge erreichen kann. Die Zahl der Palmenarten ist gering. Ölpalmen sind im Urwald nicht vorhanden. Wo sie vorkommen, werden sie von Menschen kultiviert. Natürliche Unterbrechungen des Baumbestandes bilden die Waldwiesen, die jedoch räumlich immer sehr beschränkt sind. Solche Grasfelder findet man entweder auf sumpfigem Boden und dann oft mit Gruppen von Phönixpalmen durchsetzt, oder auf anstehendem Gestein, wo die Gräser in der Trockenzeit absterben. Verschiedentlich finden sich gerade auf überschwemmten Flußniederungen weite Sumpfg Grasflächen oder ein niedriger Sumpfwald, der mit dem Hochwald nicht vergleichbar ist.



Der Sekundärwald wird durch Eingriffe des Menschen verursacht. Primäre Reste bleiben jedoch oft in ihm erhalten. Nur in dicht besiedelten Gebieten müssen auch die widerstandsfähigsten Teile des Primärwaldes vor der Rodungstätigkeit der Menschen weichen. Wird jedoch das Siedelungsgebiet verlassen, so kann es mit der Zeit wieder völlig vom Primärwald in Besitz genommen werden.

O. B.

## Deutsche Ornithologische Gesellschaft.

In der Sitzung am 5. Dezember 1921 besprach Prof. Schalow ein neues Werk über den Vogelzug: *Friedrich v. Lucanus, Die Rätsel des Vogelzuges, ihre Lösung auf experimentellem Wege durch Aeronautik, Aviatik und Vogelberingung* (Verlag von Beyer und Mann, Langensalza), und wies darauf hin, daß das Buch, das das gesamte Vogelzugproblem nach dem Stande der neuzeitlichen Forschung erschöpfend behandelt, eine wertvolle Bereicherung der ornithologischen Literatur sei, da die älteren Werke über den Vogelzug überholt sind.

Dr. Stresemann führte in einem Vortrag über **Sprungvariationen in der Gefiederfärbung einiger Vogelarten** folgendes aus: Unter Sprungvariationen versteht man ein erbliches Abweichen vom eigentlichen Typus. Neben diesen erblichen Abweichungen kommen auch nichterbliche Mutationen vor, die stets durch äußere Einflüsse hervorgerufen werden im Gegensatz zu den erblichen Variationen, deren Ursachen im Innern des Organismus selbst liegen. Unter dem Einfluß der Domestikation zeigen sich erbliche Gefiedervariationen hauptsächlich bei Hühnervögeln, z. B. beim Pfau. In der Natur treten Sprungvariationen besonders bei den Steinschmätzern, den Tagraubvögeln, den Papageien, Raubmöven und Sturmvögeln auf. Bei Vogelarten mit abweichender Gefiederfärbung zeigt sich stets, daß sich die Paare nicht nach der Färbung zusammenfinden. Man darf also die Rolle der geschlechtlichen Auslese, soweit sie die Färbung betrifft, nicht überschätzen. Der sexuelle Anreiz wird bei den Vögeln hauptsächlich von anderen Eigenschaften ausgehen, wie Körperhaltung, Bewegung, Stimme usw. Die Sprungvariationen treten nicht immer im ganzen Wohngebiet der Art gleichmäßig auf. So überwiegt die helle Form des Eissturmvogels auf den Faröern, die dunkle auf Spitzbergen und im hohen Norden. Dagegen ist umgekehrt bei *Stercorarius parasiticus* der dunkelste Typ unter den Vögeln des hohen Nordens viel seltener als unter den mehr südlich beheimateten Raubmöven. Häufig läßt sich bei dichromatischen Arten nicht mehr nachweisen, welche Färbung die ursprüngliche ist. In den auffälligsten Fällen weicht die Mutante von der Ausgangsform entweder durch Anhäufung von Melanin in zuvor melaninfreien Federpigmenten, oder umgekehrt durch Melaninmangel in zuvor pigmentierten Federteilen ab.

In der Diskussion wies Prof. Heck darauf hin, daß beim Schwarzschilderpfau die Geschlechter nach verschiedenen Richtungen mutieren, da das Gefieder der Männchen pigmentreicher, der Weibchen aber pigmentärmer wird.

In der Sitzung am 2. Januar legte der Vorsitzende v. Lucanus eine neue Schrift des Prof. Konrad Günther vor: „Das Tierleben unserer Heimat“, die in 3 Teilen eine gemeinverständliche Schilderung von der Entstehung der Tierwelt, den Grundlagen des Lebens und den Lebensgewohnheiten der Tiere enthält. Das sehr anregend geschriebene Buch gibt einen prachtvollen

erschöpfenden Überblick über die Vorgänge in der Natur und ihre wechselseitigen Beziehungen.

Dr. Heinroth sprach über **Paarungsweisen der Vögel**. Die Begattung der meisten Vögel erfolgt nicht nach vorherigem heftigen Treiben, sondern gewöhnlich in aller Ruhe. In der Regel fordern die Singvögel das Weibchen durch Einnehmen einer geduckten Stellung zur Begattung auf. Viele Vogelpaare, wie Drosseln und Spechte, stehen sich während der Ehe dauernd geradezu feindlich gegenüber und meiden sorgsam jede Annäherung, die nur während des Begattungsaktes stattfindet. Bei manchen Vogelarten gehen der Begattung Zärtlichkeitsäußerungen voraus, z. B. ein Füttern aus dem Kropfe bei den Tauben und allen Körnerfressern. Raubvögel Männchen füttern mitunter das Weibchen während des Tretens. Bei den Pfauen und Truthühnern suchen nicht die Männchen die Weibchen auf, sondern umgekehrt die Weibchen die Männchen, sie stellen sich vor den balzenden Hahn hin und fordern ihn zur Begattung auf. Bei den Laufhühnern, Turnix, sind die Paarungsgewohnheiten vertauscht. Die Weibchen, die auch schönere Farben tragen, balzen vor den Männchen, die äußerlich in ihrem schlichten Kleide ein Hennengefieder tragen und auch später die Brutpflege ausführen. Bei der Stockente und ihren Verwandten erfolgt im Herbst eine merkwürdige Begattung ohne Anschwellung der Keimdrüsen. Die Paarung der Entenvögel erfolgt auf dem Wasser, der Taucher dagegen auf dem Nest.

Friedrich v. Lucanus, Berlin.

## Geophysikalische Mitteilungen.

**Die Internationale Erforschung der oberen Luftschichten.** Vom 25. bis 29. Juli 1921 fand in Bergen (Norwegen) die 7. Versammlung der Internationalen Kommission zur Erforschung der höheren Luftschichten statt. Am Empfangsabend demonstrierte J. Bjerknes (Bergen) im Geophysikalischen Institut an der Hand einer Reihe von Karten die Theorie der *Polarfront*. Es handelt sich dabei um eine neue Auffassung von dem Wesen der barometrischen Maxima und Minima, die sich durchzusetzen scheint und eine grundlegende Umwälzung unserer Vorstellung von den Witterungsvorgängen herbeiführen dürfte. Die große Wichtigkeit des Gegenstandes mag eine ausführlichere Würdigung gerade dieses Vortrages rechtfertigen.

Die nacheinander von Westen nach Osten in der gemäßigten Zone dahinziehenden Zyklonen sind aufzufassen als gewaltige Luftwogen, die sich an der Grenzfläche zwischen einer Polarkappe kalter Luft und den umgebenden wärmeren Luftmassen bilden. Die Schnittlinie dieser Grenzfläche mit der Erdoberfläche geht demnach durch die rund um den Pol verteilten Zyklonen und Antizyklonen. Die äußersten Nordzipfel der warmen Wellen fallen mit den Zentren niedrigen Druckes zusammen, die südwärts vorgeschobenen kalten Wellen der polaren Luft dagegen bilden die zwischen den Zyklonen auftretenden Keile hohen Druckes. Die Amplituden der Wellen entsprechen der Tiefe der Depressionen.

In dem Maße, wie die warme Luft an der Grenzfläche über die kalte Schicht emporsteigt, vermindert sich das Areal des warmen Sektors der Zyklone, so daß die an beiden Seiten von Norden her vordringenden Zungen kalter Luft sich immer mehr nähern und schließlich zusammentreffen können. Dann ist das Zentrum der Zyklone rings von Luft polaren Ursprungs umgeben, das System hat seine potentielle Energie ver-



lören und die Zyklone beginnt sich auszufüllen, wobei sie gleichzeitig durch den Mangel an Asymmetrie stationär wird.

Gewöhnlich schlägt jede Zyklone bei ihrer Wanderung nach Osten einen etwas südlicher gelegenen Weg ein als ihre Vorgängerin, so daß der Depressionsgürtel sich allmählich den Subtropen nähert, bis ziemlich plötzlich wieder eine Verlagerung des Kurses nach Norden erfolgt. Man kann demnach die Zykklonen zu Familien zusammenfassen. Zwischen der letzten Zyklone einer Familie und der ersten der darauf folgenden hat denn die Polarluft freien Zutritt nach Süden in den Passatgürtel hinein. In der Regel zählt jede Familie vier Zykklonen, von denen die erste und die dritte am stärksten ausgeprägt sind. Seit Beginn des Jahres 1921 sind 34 Familien gezählt worden, von denen jede eine Dauer von durchschnittlich etwa 6,2 Tagen aufweist. Diese 6,2tägige Periode ist identisch mit einer der ausgeprägtesten kurzen klimatischen Perioden, die sich mit Hilfe der harmonischen Analyse in allen Teilen der gemäßigten Zone auffinden lassen.

In den Sitzungen wurden zahlreiche Vorträge gehalten, die jedoch aus Raummangel hier nur ganz kurz erwähnt werden können.

V. Bjerknes (Bergen) gab auf Grund der Wellentheorie eine Darstellung über die Luftzirkulation in den oberen Schichten der Atmosphäre und diskutierte die Rolle, welche diese Wellenbewegung in dem System der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre spielt. Napier Shaw (London) sprach über die Struktur der nordhemisphärischen Atmosphäre und ihren thermodynamischen Zustand im Juli. In einer Höhe von rund 8000 m ist die Luftdichte ziemlich gleichförmig über die ganze Erde verteilt ohne wesentliche Änderung im Laufe des Jahres. Darüber herrscht ein polwärts gerichteter Gradient der Dichte, darunter ein äquatorwärts gerichteter. L. F. Richardson (London) hob die grundlegende Bedeutung der Kontinuität der Masse für die theoretische Hydrodynamik hervor und forderte erhöhte Berücksichtigung der diesbezüglichen Gleichungen seitens der praktischen Meteorologie. E. van Everdingen (De Bilt) schilderte den Gebrauch des Aeroplans für Höhenbeobachtungen, die in Gemeinschaft mit den Aufzeichnungen von Pilotballons zur Konstruktion von Isobaren in 5000 m Höhe führen könnten. S. Fujiwhara (Tokio) besprach die turbulenten Bewegungen bei der Wolkenbildung, die im wesentlichen denen von Wasserwirbeln und Zykklonen ähneln. J. Cruz-Conde (Madrid) gab Aufschluß über die Organisation der aerologischen Beobachtungen in Spanien. W. van Bemmelen (Batavia) berichtete über die aerologischen Arbeiten in Batavia, die bis 30 000 m Höhe ausgedehnt werden konnten. In 17 500 m Höhe wurde ein Temperaturminimum von  $-85^{\circ}$  erreicht, darüber jedoch nicht die erwartete isotherme Schicht, sondern eine Temperaturzunahme gefunden, die bis zu den Temperaturen der Stratosphäre in den gemäßigten Breiten führte. H. Köhler (Haldde, Norwegen) hat Messungen und Analysen der Wasserpartikelchen in der Atmosphäre ausgeführt. Er weist nach, daß die Spannkraft des Wasserdampfes eines Tropfens durch den Gehalt an gelösten Salzen so stark vermindert werden kann, daß eine Kondensation möglich wird, selbst wenn die umgebende Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt ist. L. F. Richardson (London) diskutierte die Gültigkeit der geostrophischen Hypothese für die Stratosphäre. A. de Quervain (Zürich) machte Mitteilung von dem Plan der Errichtung eines geophysikalischen Observatoriums am Jungfraujoch in 3600 m

Höhe, dessen Vorzug vor allen anderen in der leichten Erreichbarkeit durch die Eisenbahn bestehen würde. Schereschewsky (Paris) erläuterte eine Methode der Ortung von Pilotballons im Nebel. Die Ballons sind mit Knallpetarden versehen, die in regelmäßigen Zeitabständen explodieren. Die Schallwellen werden durch ein System von registrierenden Mikrophonen aufgenommen. K. Sékigouchi (Tokio) betonte den Nutzen der Konstruktion von Isobaren in 3000 und 6000 m Höhe für den täglichen Wetterdienst. L. Matteuzzi (Rom) legte ein für didaktische Zwecke geschriebenes Werk über die Wolken vor, das 22 Tafeln der Wolkenformen in farbiger photographischer Reproduktion enthält. Außerdem machte er eine Mitteilung über eine Voraussage des Luftdruckes, die sich durch Anwendung der harmonischen Analyse auf den progressiven Gang des Luftdruckes erreichen läßt. O. Devik (Tromsö) schilderte eine neue Methode der Beobachtung von Pilotballons und deren Verwertung für den täglichen Wetterdienst. Es handelt sich dabei um die Ausrüstung der Pilotballons mit automatisch funktionierenden Miniatur-Radiostationen, so daß ihr Kurs sich auch bei unsichtigem Wetter und über den Wolken verfolgen läßt. Der Vortragende hofft, daß es sich ermöglichen lassen wird, auch die jeweilige Temperatur durch Radio-Signale anzugeben. G. J. Taylor (Cambridge) machte Mitteilung von Untersuchungen über Turbulenz, die von dem aeronautischen Komitee veröffentlicht worden sind. Theoretische Überlegungen lassen es wahrscheinlich erscheinen, daß die Turbulenz durch ein Drucksystem verursacht wird, das mit der mittleren Windgeschwindigkeit fortschreitet. R. Dongier (Paris) berichtete über Diskontinuitätsflächen in der Atmosphäre, die am 21. Dezember 1920 am Eiffelturm beobachtet wurden, als eine obere wärmere Luftschicht sich mit größerer Geschwindigkeit über die untere hinwegbewegte. Kurslinie wie Böenlinie im Sinne von J. Bjerknes ließen sich feststellen. J. Bjerknes (Bergen) zeigte an mehreren Beispielen, wie die während des Krieges in so großer Zahl angestellten Beobachtungen sich für das Studium der höheren Luftschichten verwerten lassen. Schereschewsky (Paris) legte eine neue Methode der Wettervorhersage dar, bei welcher die graphische Darstellung der Änderung von Luftdruck und Temperaturen sowie die Berücksichtigung der Wolken, vor allem des alto-stratus, eine Hauptrolle spielen. L. F. Richardson (London) stellte ein ideales Schema für die Verteilung von Beobachtungsstationen für aerologische Forschungen auf.

Diesem reichen wissenschaftlichen Programm entsprachen umfangreiche organisatorische Verhandlungen und Beschlüsse. Da die deutschen und österreichischen Aerologen der Internationalen Kommission nicht mehr angehören, so haben sie mit holländischen, norwegischen und schwedischen Vertretern der Aerologie eine Arbeitsgemeinschaft für diejenigen Institute begründet, die ohne jeden Zwang wissenschaftlich miteinander verkehren wollen. Die Leitsätze dieses Übereinkommens wurden der Internationalen Kommission in der Eröffnungssitzung von dem Präsidenten V. Bjerknes zur Kenntnis gebracht. Es gelangten im ganzen 24 Beschlüsse zur Annahme. Sie beziehen sich meist auf verschiedene Einzelheiten über die Zahl der Aufstiege von Drachen und Registrierballons, Auswahl der Tage für die internationalen Beobachtungen, Verteilung der Kosten, Art der Veröffentlichung usw. Für wünschenswert erklärte man systematische Untersuchungen über die Ausbreitung des Schalles bei Explosionen, aerologische Beobachtungen auf See, meteorologische Messungen in den Hochalpen, z. B. am Jung-



fraujoch, sowie auf den Türmen der Funkstationen. Ein von V. Bjerknes und L. F. Richardson ausgearbeitetes Memorandum über die künftigen Aufgaben der aerologischen Forschung fand die Billigung der Kommission.

Von Wichtigkeit für unsere künftige Beteiligung an der Internationalen Aerologischen Forschung sind die letzten in der Schlußsitzung gefaßten Beschlüsse Nr. 22, 23 und 24, die deutlich zeigen, welche untergeordnete Stellung man Deutschland dabei zumutet. Ihr Wortlaut ist folgender: „Es wurde beschlossen: 22. Daß der Präsident ermächtigt wird, Bericht und Verhandlungen der gegenwärtigen Sitzung an die Direktoren der Institute von Ländern zu verteilen, die in der Kommission nicht vertreten sind. 23. Daß der Präsident ermächtigt wird, Abdrucke der ersten Ausgabe der Internationalen Publikation an die Direktoren von Instituten, die nicht in der Internationalen Kommission vertreten sind, zu verteilen und deren Meinung über die Form der Darstellung der Resultate einzuholen. 24. Daß der Präsident ermächtigt wird, Drucksachen und Programme (papers and agenda) der nächsten Sitzung an die Direktoren der nicht in der Kommission vertretenen Institute so rechtzeitig zu verteilen, daß Bemerkungen, die sie zu machen wünschen, noch vor der Sitzung eingehen.“ Deutschland bleibt also nach wie vor ausgeschlossen. Es wird ihm aber gnädigst gestattet, seine wissenschaftliche Arbeit in den Dienst der Kommission zu stellen. O. B.

**Lotschwankung und Deformation der Erde durch Flutkräfte**, gemessen mit zwei Horizontalpendeln im Bergwerk in 189 Meter Tiefe bei Freiberg i. S. (W. Schweydar, Zentralbureau der internationalen Erdmessung, Neue Folge der Veröffentl. Nr. 38. Berlin, P. Stankiewitz, 1921, 4<sup>o</sup>, 114 S.) Im Anschluß an seine früheren Untersuchungen über die Wirkung der Flutkräfte auf den festen Erdkörper diskutiert Schweydar die Beobachtungen an 2 Zöllnerschen Horizontalpendeln, die in einem Bergwerk in Freiberg i. S. in 189 m Tiefe aufgestellt waren. Die 70 g schweren Pendel waren zwischen gespannten 0,04 mm starken Platiniridiumdrähten aufgehängt und hatten eine Doppelschwingungsdauer von etwa 30 sec. Sie waren in den Azimuten 140° und 230° orientiert. Die Zöllnersche Aufhängung wurde gewählt mit Rücksicht auf die guten Ergebnisse der Orloffschen Beobachtungen. Sehr bewährt hat sich auch die Aufstellung in großer Tiefe; hier macht sich die Schwingung, deren Periode ein Sonnentag ist, und welche im wesentlichen durch Temperatureinflüsse hervorgerufen wird, kaum mehr geltend; offenbar überhaupt nur durch eine kleine elastische Wirkung, bedingt durch die Bewegung der obersten Schichten. Sie erreicht nur mehr den Betrag von 0",0015, gegen 0",013 bis 0",015 im Potsdamer Brunnen bei 25 m, und 0",11 im Potsdamer Erdbodenhaus bei nur 3 m Tiefe.

Die Aufgabe, die sich Schweydar stellte, bestand nun darin, die Bewegung des Lotes von dem störenden Einflüsse zu befreien, der durch den Druck der Ozeangezeiten entsteht. Da es nun nicht möglich ist, von vornherein zu entscheiden, welche Wellen sich besonders geltend machen, so wurde versucht, durch harmonische Analyse alle wichtigeren Partialtiden zu berechnen. In jeder wird sich der Einfluß der Ozeangezeiten anders geltend machen, schließlich sollen aber

doch alle auf die gleiche Elastizität der Erde führen. Der Vergleich zwischen der beobachteten Bewegung des Lotes und den theoretischen Werten, wie sie für eine vollkommen starre Erde gelten müßten, ergibt für jede Partialtide die durch die Elastizität der Erde und den Gezeitendruck verursachte Veränderung der Amplitude und der Phase.

Für  $M_2$  ergibt sich zunächst eine positive Phasenverschiebung, im Widerspruch zu Darwins Theorie der Flutreibung<sup>1)</sup>. Es folgt daraus, daß die innere Reibung nicht die Rolle spielt, die man ihr zuzuweisen pflegt, und daß die Phasenverschiebung einen anderen Grund hat, der eben in einer sekundären Deformation der Erde durch die Meeresgezeiten gefunden wird. Die Symmetrie der Phase gegen den Meridian bei den Wellen  $K_1$  und  $O_1$  weist darauf hin, daß die sekundäre Störung hauptsächlich in der Nord-Süd-Richtung wirkt, während die Ost-West-Richtung davon frei ist. Es wird nun versucht, diese sekundäre Schwingung als elliptische Bewegung des Lotes darzustellen und unter der plausiblen Annahme, daß das Achsenverhältnis der beiden Ellipsen für  $K_1$  und  $O$  gleich ist, gelingt es nicht nur die Amplituden der Störung, sondern auch die Größe  $\gamma (=1+h-k)$ , d. i. das Verhältnis der durch die Flutkräfte direkt bewirkten Lotbewegung zu ihrem Werte bei absolut fester Erde, zu bestimmen, und zwar wird  $\gamma = 0,841$ . Die Ost-West-Richtung, in der ein störender Einfluß nicht vorliegt, kann direkt verwendet werden; sie gibt für  $K_1$ :  $\gamma = 0,810$ , für  $O$ :  $\gamma = 0,788$ , endlich für das kleine Glied  $P$ :  $\gamma = 0,966$ .

Dagegen geben die halbtägigen Glieder stark abweichende Werte. Um nun hier auch den sekundären Einfluß herauszulösen, wurde mit dem obigen Wert  $\gamma = 0,841$  die von der Flutkraft allein bewirkte Lotbewegung berechnet und mit den Beobachtungen verglichen. Hier zeigt sich nun in der Orientierung der die Störung darstellenden Ellipsen deutlich der Einfluß der Nordsee, doch scheint sich namentlich in  $M_2$  auch das Mittelmeer geltend zu machen, was sich in einer kleineren Exzentrizität der Ellipse ausspricht.

Aus  $\gamma = 0,841$  ergibt sich nun unter Einführung des Rocheschen Dichtigkeitsgesetzes:

$$q = 10,1 \left( 1 - 0,764 \left( \frac{r}{a} \right)^2 \right)$$

für die Starrheitskonstante der Erde:

$$n = 30,8 \cdot 10^{11} \left( 1 - 0,90 \left( \frac{r}{a} \right)^2 \right) \text{ cgs}$$

also für das Zentrum:  $n = 30,8 \cdot 10^{11}$ , für die Oberfläche  $3,1 \cdot 10^{11}$  cgs. Nimmt man die Festigkeit der Erde durchwegs gleich, so ergibt sich  $n = 17,6 \cdot 10^{11}$ .

<sup>1)</sup> Der komplizierte zeitliche Verlauf der Flutkräfte wird dadurch übersichtlicher, daß man diese durch eine Summe von gleichzeitig wirkenden Partialkräften darstellt, von denen jede eine einfache harmonische Funktion der Zeit ist. Wie jede Einzelkraft auf dem Meere eine einfache Welle erzeugt, so erzeugt jede eine einfache elliptische Schwingung des Lotes von der Periode der Einzelkraft. Diese Partialellipsen, die sich zu einer komplizierten Bahn des Lotes zusammensetzen, bezeichnet man mit allgemein gebräuchlichen Buchstaben.  $M_2$  ist das nahezu halbtägige Hauptmondglied,  $K_1$  hat die Periode eines Sterntages,  $O$  und  $P$  haben die Periode von nahezu 24 Stunden; die letzten drei Partialellipsen rühren von der Deklinationsänderung des Mondes und der Sonne her. — In den Formeln ist  $a$  der Erdradius,  $r$  der Abstand vom Erdzentrum,  $k$  und  $h$  die Höhe der Deformation der Erdoberfläche (elastische Gezeiten) bzw. der Niveaufläche infolge der elastischen Gestaltsänderung der Erde in Einheiten der statistischen Meeresflut (= 54 cm für die Mond- und 25 cm für die Sonnenflutkraft).

<sup>1)</sup> Report of the proceedings of the seventh meeting of the International Commission for the Investigation of the Upper Air held in Bergen 25<sup>th</sup> — 29<sup>th</sup> July 1921. Published by the President. Bergen 1921. 51 S. 22 cm.



also etwa die doppelte Festigkeit des Stahles. Die Periode der Polbewegung findet sich mit diesem Werte zu 425,4 Tagen gegen  $423 \pm 13$  bei *Wanach*. Dies entspricht einem Werte von  $h = 0,270$ , und dazu findet sich mit  $\gamma = 1 + h - k = 0,841$ :  $k = 0,429$ . Damit wird berechnet, daß die elastischen Gezeiten durch den Mond eine Hebung der Erdoberfläche über die tiefste Lage von 23 cm bewirken, was durch den Einfluß der Meeresgezeiten noch verdoppelt wird. Für die Breite von Freiberg bleiben noch immer  $\pm 10$  cm; in guter Übereinstimmung mit den Resultaten direkter Beobachtungen, die *Schweydar* 1913 in Potsdam mit Hilfe eines Bifilargravimeters angestellt hat, welches zu dem Werte  $\gamma = 1 + h - k$  noch eine Größe  $\alpha = 1 + k - \frac{3}{2}h$  liefert, so daß man nach dieser Methode  $h$  und  $k$  ohne Rücksicht auf irgendein Dichtegesetz und eine Elastizitätstheorie bestimmen kann.

A. Prey.

**Akustische Tiefenmessung.** Die verschiedenen Methoden, durch Lotung auf geometrischem Wege die Meerestiefen zu messen, kränken sämtlich daran, daß sie umständlich, zeitraubend und meist ziemlich ungenau sind. Vor allem jedoch lassen sie sich nur bei günstigem Wetter anwenden. Man hat daher bereits mehrfach den Versuch gemacht, auf indirektem Wege, z. B. durch Messung der Zeit, innerhalb welcher nach Erzeugung eines Schalles die vom Meeresboden reflektierten Schallwellen die Oberfläche wieder erreichen, durch Bestimmung der Fallzeit eines schweren Körpers, durch Ermittlung des Wasserdruckes am Meeresboden, durch Schwerkraftmessungen usw. Tiefenmessungen auszuführen<sup>1)</sup>. Von diesen Methoden ist die akustische neuerdings so vervollkommen worden, daß ihre praktische Anwendung keinerlei wissenschaftliches Personal an Bord eines Schiffes verlangt, sondern von der Schiffsbemannung ohne weiteres betätigt werden kann. Bei dem von A. Behm in Kiel konstruierten *Echolot* genügt es, nacheinander auf drei Knöpfe zu drücken, worauf ein Lichtstrich an einer Skala ohne merkbare Verzögerung die Wassertiefe anzeigt, die sich in dem Moment des Druckes auf den dritten Knopf unter dem Kiel des Schiffes befindet. Die Genauigkeit der Angaben beträgt etwa einen viertel bis einen halben Tiefenmeter, ist also nicht nur für praktische, sondern wohl auch für alle wissenschaftlichen Zwecke ausreichend<sup>2)</sup>.

Die Vorteile des Verfahrens liegen auf der Hand. Der Schiffsführer ist jederzeit, auch nachts und bei schlechtem Wetter, in der Lage, ohne anderes Personal zu beanspruchen, in ganz kurzen Zeitabständen zuverlässige Lotungen auszuführen, die Tiefen bequem abzulesen und deren richtige Angabe sogar noch nachträglich kontrollieren zu können. Das Befahren von gefährlichen Küstengewässern, besonders in der Dunkelheit oder bei unsichtigem Wetter, wird durch die akustische Tiefenmessung erheblich an Sicherheit gewinnen, aber auch für Vermessungszwecke dürfte sie sich vorzüglich eignen. Wenn es gelungen sein wird, den Meßbereich des Behm-Echolotes<sup>3)</sup>, das jetzt nur für geringere Tiefen eingerichtet ist, auch auf die größten Meerestiefen auszudehnen, wird es den Kabeldampfern

eine bedeutende Erleichterung ihrer Aufgabe bringen. Mit einer für derartige Tiefloten erforderlichen Registriervorrichtung kann es in jeden Handelsdampfer eingebaut werden und gibt dann die Möglichkeit, die Tiefen auf allen Schifffahrtsrouten mit jeder wünschenswerten Genauigkeit festzulegen. Eine Anpassung der Methode an die Zwecke der Luftfahrt ist gegenwärtig in Ausarbeitung. Sie soll es dem Luftfahrer ermöglichen, selbst in dichtestem Nebel die Höhe über dem Erdboden, die für ihn wichtiger ist als die vom Barometer angegebene Höhe über dem Meeresniveau, genau zu bestimmen. O. B.

**Jahresbericht des Schweizerischen Erdbebenendienstes 1919.** (A. de Quervain, Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, Jahrgang 1919, Zürich 1920.) In einer Tabelle sind die in der Schweiz im Jahre 1919 gefühlten Beben zusammengestellt. Im ganzen sind es 57 Beben; das stärkste ist das am 16. November 1919 in den Berner und Walliser Alpen gefühlte. Seine Intensität im Epizentrum wurde in den 6. Grad der zehnteiligen Skala von *Forel-Rossi* eingeschätzt; 16 Beben sind in die 5. Stufe eingereiht worden. 14 Beben sind von den Seismographen der Erdbebenwarte in Zürich, wo sich zwei Horizontalseismographen, je einer für die Aufzeichnung nörd-südlicher und ostwestlicher Bodenbewegungen, nach *Mainka* und ein Vertikalseismograph nach *Wiechert* für die auf- und abwärtigen Bewegungen befinden, aufgezeichnet worden. Besonders bemerkenswert sind sechs Bebenstöße im Kanton Glarus, Klöntal, 16. November bis 7. Dezember 1919, von denen nur einer, Stärke 6, in Zürich registriert worden ist, während die anderen, Stärke 4—5, dort nicht aufgezeichnet und auch nur etwa  $1\frac{1}{2}$  km entfernt vom Epizentrum gespürt worden sind. Als Erklärung für diese auffallende Erscheinung weist de Quervain auf die Tatsache hin, daß der Klöntaler See, ein Stausee, Druckschwankungen unterworfen ist und diese vielleicht auslösend auf lokale Spannungen in der obersten Erdschicht wirken können. Dieser Hinweis erscheint einleuchtend, vielleicht läßt sich eine Registrierung der Schwankungen ermöglichen, die in mancher Richtung wertvoll wäre.

In einer folgenden Tabelle werden die von den angeführten Apparaten in Zürich registrierten Nahbeben, d. h. Beben mit Epizentralentfernungen, die kleiner als 1000 km sind, aufgeführt. Neben den Zeitangaben für den ersten P- und zweiten S-Einsatz sind noch die Zeiten für das Diagrammmaximum und das Ende gegeben. Auf Grund einer vorhandenen Laufzeitkurve für nahe Beben sind gemäß den Differenzen S—P die Epizentralentfernungen in Kilometern angeführt. Vielleicht läßt sich für die nächsten Berichte auch die tatsächliche Entfernung: Epizentrum—Zürich für die Beben, deren Epizentra, Orte stärkster Erschütterung, bekannt sind, angeben. Trotz aller bisherigen Bemühungen bleibt die Lage des Epizentrums zum Herd, Ausgang der Störung, fraglich. Nicht nur die Herdtiefe ist unbekannt, sondern auch die übliche Annahme, daß das Epizentrum senkrecht über dem Herd liegt, bedarf wohl in den meisten Fällen des Beweises. Für die Berechnung der Beschleunigungen sind ferner Perioden und Amplituden für die genannten Einsätze gegeben, so daß ein Vergleich mit der im Epizentrum beobachteten Intensität ausführbar wird. Die Perioden der einleitenden P-Wellen liegen zwischen 0,5 und 1 Sekunde; bei den S-Wellen kommen auch Wellen mit 2—3, auch 4 Sekunden Periode vor. Die beiden Horizontalkomponenten, die ganz und gar unabhängig voneinander sind, was für die Beobach-

<sup>1)</sup> Handbuch der Ozeanographie von Otto Krümmel, 2. Auf., Stuttgart 1907, Bd. 1, S. 80—82.

<sup>2)</sup> Das Behm-Echolot. Von A. Behm. Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie, Berlin 1921, 49. Jahrg., Heft 8, S. 241—247, Tafel 10.

<sup>3)</sup> Ausblicke für die Verwendung des Behm-Echolots. Von W. Brennecke. Ebenda, 1921, 49. Jahrg., Heft 11, S. 363—364.



tung von nahen Beben besonders beachtenswert ist, und die Vertikalkomponente zeigen nicht selten verschiedene Störungsperioden. Die Instrumente sind, was vielleicht noch zu bemerken ist, besonders für die Aufzeichnung naher Beben eingestellt. Abgesehen von den Nahbeben sind noch 30 Fernbeben registriert.

Als Anhang ist zunächst ein Aufsatz: „Über identische Seismogramme“ von *de Quervain* und *de Weck* beigelegt. Dem Seismologen, der sich mit der Bearbeitung der Seismogramme beschäftigt, ist bekannt, daß Seismogramme gleicher Herde sich, soweit es die gleiche Warte anbetrifft, ähnlich sehen und daß es möglich ist, auf Grund einer solchen seismischen Visitenkarte den Ort der Herkunft der elastischen Wellen anzugeben. Vorausgesetzt ist, daß die Intensitäten der in Betracht kommenden Beben nicht zu sehr voneinander verschieden sind. Die Verf. untersuchen die Seismogramme des italienischen Erdbebenschwarmes vom August 1916 mit Rücksicht auf ihr Aussehen und geben, was bisher noch nicht geschehen, identische Seismogramme zweier Erdbebenpaare des gleichen Herdes des Bebens vom 15. August 1916 wieder. Von der Übereinstimmung, die bis ins kleinste geht, wird jeder überrascht sein. Ist  $S_1$  das eine Seismogramm,  $S_2$  das andere des gleichen Herdes für dieselbe Warte, sind ferner  $E_1, E_2, \dots, E_1, \dots$  auf fallende Einsätze des ersten,  $E_2, E_2, \dots, E_2, \dots$  solche des zweiten Diagrammes, die mit denen des ersten identisch sind, so muß  $E_2 - E_1 = E_2 - E_1 = \dots E_2 - E_1$  sein. Bis auf kleine Abweichungen trifft dieses nach der vorliegenden Arbeit auch zu. Nach der Ansicht der Verf. könnten diese Änderungen Schwankungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von einem Beben zum anderen zugeschrieben werden; diese Annahme, auch die Verf. sind dafür, müßte aber erst noch weiter geprüft werden. 1907 hat *Mainka* sich mit den Unterschieden  $E_2 - E_1$  für verschiedene Warten beschäftigt und bemerkt, daß in diesem Fall eine Gleichheit der Differenzen der verschiedenen Erdwarten auf den gleichen Ausgangsort der beiden Beben hinweist, also auch als Bestimmung der Lage des Epizentrums des einen Bebens benutzt werden kann, wenn die des anderen bekannt ist. In diesem Fall kann aus auftretenden Abweichungen der Zeitunterschiede schließlich ein Schluß auf die relative Lage der beiden Störungsgebiete zueinander gezogen werden.

In einer weiteren Arbeit: „Ein erster Fall diametraler Ausbildung des anomalen Schallgebietes und seine Bedeutung“ untersucht *de Quervain* die Ausbreitung der Schallstrahlen gelegentlich der Explosion von Vergiate, 26. XI. 1920. Über anomale Schallausbreitung und Schweigezone ist in den letzten Jahren verschiedentlich berichtet worden. Nach *A. de Quervain* können derartige Anomalien infolge von Temperaturabnahme und Windzunahme mit der Höhe eintreten. *v. d. Borne* sucht eine zutreffende Erklärung in der Leitung der Schallstrahlen von der Störungsquelle über die Schweigezone hinweg in das Gebiet anomaler Hörbarkeit durch die Wasserstoffosphäre, die nach *Hann* und *A. Wegener* bei 70 km Höhe beginnen soll. Nach *de Quervain* schließt dieses Prinzip das erste meteorologische nicht aus. Der meteorologische Erklärungsversuch fordert eine einseitige Ausbildung der anomalen Hörbarkeitszone, wogegen das erstere eine ringförmige fordert. Entsprechend der vorliegenden Untersuchung stellt *de Quervain* „wohl zum erstenmal ein Gebiet der anomalen Hörbarkeit fest, das auf nahezu

diametral zur Schallquelle liegenden Gegenden mit großer Deutlichkeit, ja mit Heftigkeit auftritt“. Trotz alledem wünscht Verf. experimentelle Versuche großen Stils, die von der internationalen Kommission (international stimmt wohl nicht, da die Zentralmächte ausgeschlossen waren. D. Ref.) in Paris Oktober 1919 in Aussicht gestellt worden sind.

Die Explosion ist auch von den Seismographen in Zürich, Stuttgart, Ravensburg, Chur, die drei ersten Warten haben die gleichen Horizontalseismographen, registriert worden. Als Ausbreitungsgeschwindigkeit der Explosionswellen für die oberste Erdkruste ergibt sich, übereinstimmend mit anderen Resultaten, 5,5 km/sec<sup>-1</sup>.

*Mainka.*

**Erdbeben in Bayern 1908/20** (*C. W. Lutz*. Mit geologischen Anmerkungen von *J. Schwertschläger*. Sitz.-Ber. der Bayer. Ak. d. Wissensch., Math.-phys. Klasse 1921.) Die Erdbebenchronik Bayerns reichte zunächst von den Anfängen der geschichtlichen Zeit bis zum Jahre 1908; die vorliegende Zusammenstellung bildet die Fortsetzung bis 1920. Neben den in Bayern unmittelbar gefühlten Erdbeben, von denen rund 100 aufgeführt sind, sind auch 23 Beben angegeben, deren Ausgangsorte in den benachbarten Ländern lagen, die aber doch infolge ihrer Stärke auch in Bayern von Menschen gefühlte Bodenbewegungen ausgelöst haben. Bemerkenswert ist, daß nicht nur österreichische, vogtländische, württembergische und schweizerische Beben in Bayern von Menschen gefühlt wurden, sondern auch zwei ober- und sogar ein mittellitalienisches Beben.

Die unmittelbar von Menschen angestellten makroseismischen Beobachtungen sind noch ergänzt durch instrumentelle Beobachtungen der Erdbebenwarten München, Nördlingen, Hausham und Hof, errichtet bzw. 1905, 1911, 1914, 1909. Bei 82 Beben ist die maximale Bebenstärke im eigentlichen Schüttergebiet angegeben; es kommen auf Stärke II: 13, Stärke III: 38, Stärke IV: 23, Stärke V: 6, Stärke VI: 1 und Stärke VII: 1 aufgezeichnete Beben; von den beiden letzten Warten sind Registrierungen nicht geliefert worden.

Besondere Aufmerksamkeit erfordern die 48 Beben des Altmühljura, die tektonischen Charakters am Schluß des Berichtes in geologischer Hinsicht besonders besprochen sind. Nicht nur bei diesen, sondern auch bei fast allen übrigen Beben ist unterirdisches Rollen gehört worden. Auch die Einsturzbeben, namentlich die am Euerwanger Bühl, rufen das Sonderinteresse des Seismologen hervor. Wenn auch der Bericht (der Druckkosten wegen) sehr zusammengedrängt ist, so enthält er doch mancherlei schätzenswerte Anregungen.

*Mainka.*

**Internationale Listen afrikanischer Ortsnamen.** Den Listen europäischer und asiatischer Ortsnamen, über welche in dieser Zeitschrift kurz berichtet wurde (1921, 9. Jahrgang, Heft 39, S. 784, und Heft 42, S. 862), hat das Permanent Committee on Geographical Names for British Official Use im Dezember 1921 eine First General List of African Names (8 pag., Preis 6 d.) folgen lassen, die in gleicher Weise etwa 250 der wichtigsten geographischen Namen des größten Teils von Afrika enthält. Reichhaltiger als diese ist eine im Februar 1922 erschienene First List of Names in Tanganyika Territory (16 pag., Preis 6 d.) mit den Namen in unserem früheren Schutzgebiete Deutsch-Ostafrika, die fast doppelt so viele Namen enthält. Weitere Listen der Goldküste, Kameruns und Britisch-Togos sind in Vorbereitung.

*O. B.*



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von

**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

---

Heft 16. (Seite 361—416)

21. April 1922.

Zehnter Jahrgang

---

## ZEHN JAHRE LAUE-DIAGRAMM

**Verlag von Julius Springer in Berlin W 9**

Vor kurzem erschien:

**Die**  
**Quantentheorie**  
**Ihr Ursprung und ihre Entwicklung**

Von

**Professor Dr. Fritz Reiche**

Mit 15 Textfiguren. (VI, 232 S.)

Preis M. 34.— (u. Teuerungszuschlag)

**Inhaltsübersicht:**

- I. Der Ursprung der Quantenhypothese.
  - II. Das Versagen der klassischen Statistik.
  - III. Die Entwicklung und Verzweigung der Quantentheorie.
  - IV. Das Übergreifen der Quantenlehre auf die Molekulartheorie fester Körper.
  - V. Das Eindringen der Quanten in die Gastheorie.
  - VI. Die Quantentheorie der optischen Serien. Der Ausbau der Quantentheorie für mehrere Freiheitsgrade.
  - VII. Die Quantentheorie der Röntgenspektren.
  - VIII. Erscheinungen an Molekülmodellen.
  - IX. Ausblick.
- Anmerkungen und Zusätze.

**Zu beziehen durch jede Buchhandlung**







H. Lane.



## ZEHN JAHRE LAUE-DIAGRAMM

## Inhalt:

|  | Seite |
|--|-------|
| Die Geschichte der Auffindung der Röntgenstrahlinterferenzen. Von <i>W. Friedrich</i> ,<br><i>Freiburg i. B.</i> . . . . . | 363   |
| Zehn Jahre Röntgenspektroskopie. Von <i>Paul Knipping</i> , <i>Berlin-Dahlem</i> . . . . .                                 | 366   |
| Bericht über neuere Ergebnisse der Röntgenspektroskopie. Von <i>Gregor Wentzel</i> , <i>München</i> . . . . .              | 369   |
| Über die Wellenlänge der $\gamma$ -Strahlen. Von <i>Lise Meitner</i> , <i>Berlin-Dahlem</i> . . . . .                      | 381   |
| Laue-Interferenzen und Atombau. Von <i>P. Debye</i> , <i>Zürich</i> . . . . .  | 384   |
| Die Bedeutung des Lauediagramms für die Kristallographie. Von <i>Paul Niggli</i> , <i>Zürich</i> . . . . .                 | 391   |
| Beiträge zur Auswertung der Lauediagramme. Von <i>E. Schiebold</i> , <i>Leipzig</i> . . . . .                              | 399   |
| Röntgenographische Bestimmung von Kristallanordnungen. Von <i>M. Polanyi</i> , <i>Berlin-Dahlem</i> . . . . .              | 411   |



## Die Geschichte der Auffindung der Röntgenstrahlinterferenzen.

Von W. Friedrich, Freiburg i. B.

Die ersten Versuche, Beugungs- oder Interferenzerscheinungen der Röntgenstrahlen zu erhalten, sind schon von dem Entdecker der Strahlen selbst gemacht worden; denn er war sich wohl bewußt, daß mit der Auffindung einer Interferenzerscheinung die Wellennatur seiner Strahlen bewiesen war. Vermutete er doch in ihnen die von *Helmholtz* erwarteten longitudinalen Ätherschwingungen. Indessen waren die mit mannigfachen Versuchsbedingungen angestellten Versuche an engen Spalten ohne die Resultate, die ihn von der Existenz einer Beugung der Strahlen überzeugen konnten.

In der nächsten darauffolgenden Zeit wurden von verschiedener Seite analoge Versuche mit Beugungsspalten angestellt. So fanden *Fomm*, *Sagnac*, *Calmette* und *Lhullier* Verbreiterungen bzw. helle und dunkle Streifen in den Spaltbildern, die sie als Beugungserscheinung deuteten; von *Fomm* wurde sogar die Wellenlänge der Röntgenstrahlen auf Grund seiner Photogramme berechnet zu etwa  $10^{-6}$  cm. Die Erscheinungen erwiesen sich jedoch später als subjektive optische Täuschungen, die durch ganz andere Erscheinungen als durch Beugung zustande gekommen waren.

Trotz dieser Mißerfolge hatte die Auffassung von den Röntgenstrahlen als Wellenvorgang ihre Anhänger. Die von *Wiechert* und *Stokes* aufgestellte Theorie der Röntgenstrahlen fand immer mehr Verbreitung. War es doch eine notwendige Folge der Maxwell-Lorentzschen Elektrodynamik, daß, wo elektrische Ladungen ihre Geschwindigkeit verändern, elektromagnetische Wellen entstehen. Eine derartige Geschwindigkeitsänderung einer Ladung findet ja statt in der Röntgenröhre, wo die Kathodenstrahlenteilchen, die Elektronen, an der Antikathode plötzlich von großer Geschwindigkeit zur Ruhe kommen. *W. Wien* war es dann, der eine Berechnung der Wellenlänge der Röntgenstrahlen versuchte an Hand der elektrodynamischen Theorie in Verbindung mit der damals neu entstandenen Quantentheorie. Der Wert von  $10^{-9}$  bis  $10^{-10}$  cm schien auch die auffallenden Erscheinungen der Röntgenstrahlen, wie das große Durchdringungsvermögen und die Nichtbrechbarkeit, erklären zu können.

Diese Überlegungen bewogen *Haga* und *Wind* 1899, die Beugungsversuche am Spalt mit wesentlich feineren Hilfsmitteln wieder aufzunehmen. Sie benutzten einen konvergierenden, sich keilförmig zuspitzenden Spalt, der es gestattete, in einem Photogramm sozusagen die Beugungs-

effekte an unendlich vielen Spalten von kontinuierlich veränderlicher Breite zu überblicken. Dieselbe Anordnung verwendeten dann später *Walther* und *Pohl* 1908 und verfeinerten die Herstellung und die Justierung des Beugungsspaltes noch weiterhin. Während nun *Haga* und *Wind* aus ihren Versuchen auf ein positives Resultat schlossen und die Wellenlänge der Röntgenstrahlen aus der Verbreiterung des Spaltbildes an der Spitze der Größenordnung nach zu  $10^{-8}$  cm bestimmen zu können glaubten, deuteten *Walther* und *Pohl* ihre Versuche negativ und schlossen nur auf eine obere Grenze der Wellenlänge von  $10^{-9}$  cm. So schienen denn auch bei den *Haga* und *Windschen* Photogrammen Täuschungen vorzuliegen, die bei der visuellen Beurteilung unter dem Mikroskop zustande gekommen waren. Erst die Ausmessungen der Photogramme durch *P. P. Koch* mit seinem registrierenden Photometer und die Verwertung der Ausmessung durch *Sommerfeld*, um sie mit seiner Beugungstheorie eines Impulses an einem konvergierenden Spalte in Einklang zu bringen, zeigten, daß tatsächlich eine Verbreiterung des Spaltbildes vorlag, die als Beugung gedeutet werden konnte. Die Bestimmung der Wellenlänge zu etwa  $4 \cdot 10^{-9}$  cm stimmte durchaus mit der theoretisch zu erwartenden Wellenlänge bzw. Impulsbreite, wie man damals sagte, der Größenordnung nach überein, und unsere heutige genauere Kenntnis der Wellenlänge der Röntgenstrahlen zeigt, daß der von *Sommerfeld* berechnete Wert durchaus richtig war.

Unterdessen waren durch die experimentelle Forschung, besonders durch die Arbeiten *Barklas* weitere Momente gewonnen, die als Stütze der Wellentheorie der Röntgenstrahlen dienen konnten. Die elektrodynamische Theorie der Röntgenstrahlen ließ eine Polarisierung der Strahlen vermuten. Diese Polarisierung entsteht ja dadurch, daß die Bremsrichtung für alle Elektronen nahezu die gleiche ist. In der Tat gelang *Barkla* der Nachweis einer derartigen Polarisierung. In der Optik besitzt man vielfache Mittel, um die Polarisationsverhältnisse zu studieren. Da die gebräuchlichen davon alle auf Reflexion und Brechung beruhen, so müssen sie im Gebiet der Röntgenstrahlen versagen. Der Nachweis der Polarisierung ist jedoch auch hier möglich; man bedient sich hierbei der schon von *Röntgen* entdeckten Eigenschaft der Röntgenstrahlen, einen von ihnen getroffenen Körper wiederum zur Aussendung von Röntgenstrahlen, der sogenannten zerstreuten

Strahlung, anzuregen. Diese Strahlung ist analog dem an trüben Medien zerstreuten Lichte. In der Optik kann das trübe Medium für Polarisationsbestimmungen herangezogen werden, indem man die Intensität des Lichtes in einer senkrecht zum auffallenden Lichte stehenden Ebene untersucht. Ist das auffallende Licht polarisiert, so ist die Verteilung der Intensität des Streulichtes in dieser Ebene nicht gleichmäßig, sondern es sind zwei jeweils senkrecht aufeinanderstehende Maxima bzw. Minima vorhanden. Diese Methode wurde von *Barkla* auf Röntgenstrahlen übertragen, wobei als zerstreuer Körper Kohle oder Paraffin verwendet und die Intensität der gestreuten Röntgenstrahlung durch ein Ionisationsverfahren gemessen wurde.

Weiterhin sprachen die Eigenschaften der charakteristischen Sekundärstrahlen oder Eigenstrahlen der Elemente für eine dem Lichte wesensgleiche Wellennatur der Röntgenstrahlen. Es sei nur an das serienartige Auftreten der Eigenstrahlung, besonders bei den Elementen von höherer Atomzahl, sowie an die Gültigkeit der Stokesschen Regel bei der Anregung hingewiesen.

Obleich alle diese Tatsachen für die Wellentheorie der Röntgenstrahlen ein immer festes Fundament schufen, gab es eine Reihe von Forschern, an ihrer Spitze *W. H. Bragg*, die an eine korpuskulare Natur der Röntgenstrahlen glaubten und diese Auffassung durch experimentelle Forschungsergebnisse zu stützen suchten. Wenn sie auch für die Polarisation nur eine sehr gezwungene Erklärung fanden, so konnten sie jedoch eine Reihe von Erscheinungen anführen, für die die Wellentheorie zum Teil auch bei den analogen optischen Erscheinungen eine Erklärung schuldig geblieben ist. Besonders ist es die Energie des sekundären Kathodenstrahles, die nur mit der Wellenlänge der auslösenden Strahlung verbunden zu sein scheint und unabhängig ist von anderen Faktoren, wie Art und Zustand des Körpers, bei dem sie entsteht, auch unabhängig von der Intensität der Strahlung. Hier findet die Theorie des „neutralen Paares“ von *Bragg* leicht eine Erklärung. Die Energie des primären Kathodenstrahles bleibt konzentriert; es ändern sich nur bei der Neutralisation des Elektrons durch einen äußeren Anlaß die Eigenschaften des Strahles; die große Durchdringungsfähigkeit, die Nichtbrechbarkeit usw. erklärt sich. Durch einen weiteren Anlaß kann sodann die Neutralisation wieder aufgehoben werden, und der Strahl hat wiederum die Eigenschaft des ursprünglichen Kathodenstrahles. Die Wellentheorie steht hier vor einem Rätsel. Die Energie der Strahlung breitet sich mit der Entfernung von der Strahlenquelle über immer größere Flächen aus, die Intensität wird immer kleiner, und dennoch ist die Geschwindigkeit des sekundären Kathodenstrahles immer die gleiche. Woher kommt diese Energie? Zwar kennen wir beim Lichte die gleiche Erscheinung im lichtelektrischen Effekt, aber hier

haben wir ja eine große Fülle der Interferenzerscheinungen, die uns die Wellennatur des Lichtes beweisen, die bei den Röntgenstrahlen fehlen. Solange nicht eindeutig die Wellennatur der Röntgenstrahlen bewiesen war, war es wohl zu verstehen, daß eine Korpuskulartheorie ihre Anhänger hatte.

Übrigens wissen wir auch heutzutage über das Wesen der Elektronenemission durch die Röntgenstrahlen bzw. das Licht noch herzlich wenig. Wenn auch die Quantentheorie in der Einstein-Planckschen Formel eine Beziehung gibt zwischen der Energie der sekundären Kathodenstrahlen einerseits und der Frequenz der Strahlung und des Planckschen Wirkungsquantums andererseits, so ist doch dieser Zusammenhang ein rein formaler. Das Geheimnis der Quantentheorie ist noch ungelöst.

Um dem Leser ein möglichst anschauliches Bild der Auffindung der Röntgenstrahlinterferenzen zu geben, sei es mir gestattet, die Verhältnisse in München zur Zeit der Laueschen Entdeckung zu skizzieren.

Die Anwesenheit *W. C. Röntgens* selbst als Vertreter der Experimentalphysik brachte es mit sich, daß im physikalischen Institut viel über Röntgenstrahlen gearbeitet wurde. Es mögen hier nur die schönen Arbeiten *v. Angerer*s über die Energiemessung und die *Baßler*s über die Polarisation der Röntgenstrahlen erwähnt werden. Mich selbst hatten die Röntgenstrahlen, mit denen ich mich schon während meiner Gymnasialzeit beschäftigt hatte, an die Wirkungsstätte ihres Entdeckers gezogen, und ich hatte das Glück, mit einer Arbeit über die azimutale Intensitätsverteilung der Röntgenstrahlen, die gleichfalls als Stütze der Wellentheorie herangezogen wurde, promovieren zu können. Die Vorliebe für die Röntgenstrahlen ist dann auch weiterhin für meinen wissenschaftlichen Werdegang entscheidend gewesen, wenn auch meine jetzige Tätigkeit sich nicht so sehr mit dem Gebiete der reinen Physik, als mit dem des physikalisch-biologischen Grenzgebietes befaßt.

Als Vertreter der theoretischen Physik wirkte schon damals *A. Sommerfeld* als Nachfolger *Boltzmanns* in München, dessen mannigfaltige Arbeiten über die Theorie der Röntgenstrahlen und ihrer Beugung bekannt sind. Gerade in die Zeit vor der Laueschen Entdeckung fallen auch seine Arbeiten über eine Hypothese, die er zur Vervollständigung der Impulstheorie gemacht hatte, daß nämlich der Bremsvorgang des Kathodenstrahlelektrons durch das Plancksche Wirkungsquantum reguliert werden sollte. Auf Grund dieser Hypothese kann man je nach der Geschwindigkeit des gebremsten Elektrons einen bestimmten Wert der Impulsbreite berechnen, wenigstens für den polarisierten Teil der Röntgenstrahlen.

Die Optik hatte ihren berufensten Vertreter in



*M. v. Laue.* Wie er selbst in seiner Nobelvorlesung sagt, bestand bei ihm die Vorliebe für die Optik, im besonderen die Interferenzerscheinungen von Jugend auf, und er bezeichnet es als ein glückliches Moment, daß er zur Zeit der Entdeckung mit der Niederschrift des Enzyklopädieartikels der mathematischen Wissenschaften über Wellenoptik beschäftigt war.

Von nicht zu unterschätzender Bedeutung für die Geschichte der Entdeckung der Röntgenstrahlinterferenzen war fernerhin die Anwesenheit des Altmeisters der Kristallographie *P. v. Groth*. Die außerordentlich interessanten Vorlesungen *Groths* über den Bau der Kristalle und über Kristalloptik wurden gern besucht, und in Verbindung mit der Vorliebe *Röntgens* für Kristalle und Kristallphysik bedingten sie eine eingehende Kenntnis dieses Forschungsgebietes bei den Münchener Physikern.

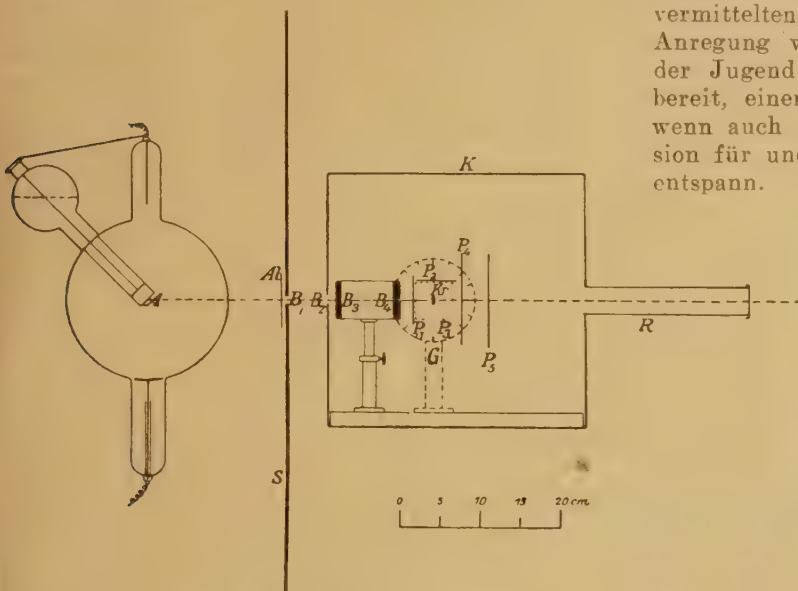


Fig. 1. Versuchsanordnung von Friedrich und Knipping.

So war denn der Boden für die Lauesche Entdeckung in der glücklichsten Weise wie wohl nirgends wo anders vorbereitet.

Den äußeren Anlaß zu dem glänzenden, so außerordentlich fruchtbaren Gedanken *Laues*, daß beim Durchgang von Röntgenstrahlen durch Kristalle Interferenzerscheinungen ähnlicher Art, wie beim Durchgang des Lichtes durch ein Beugsgitter, auftreten müssen, bildete die Arbeit *P. P. Ewalds* über das Verhalten langer elektromagnetischer Wellen in einem Raumgitter, die dieser auf Veranlassung *Sommerfelds* begonnen hatte und später als Doktorarbeit herausgegeben hat. Wie wir von *Laue* wissen, kam er bei einer Besprechung dieses Problems mit *Ewald* auf den Gedanken, nach dem Verhalten von Wellen zu fragen, welche gegen die Gitterkonstanten des Raumgitters klein sind. Hier sagte ihm sein optisches Gefühl sogleich, um mit ihm zu sprechen,

dann müssen die Gitterspektren auftreten. Die Größenordnung der Gitterkonstante eines Kristalles von  $10^{-8}$  cm war aus der Dichte, dem Molekulargewicht und der Masse des Wasserstoffatoms bekannt. Die aus den Walther- und Pohlischen Beugungsversuchen sowie aus den theoretischen Überlegungen von *Wien* und *Sommerfeld* zu erwartende Größenordnung der Wellenlänge der Röntgenstrahlen betrug  $10^{-9}$  cm. Demnach waren die Bedingungen für das Zustandekommen von Interferenzerscheinungen beim Durchgang von Röntgenstrahlen durch Kristalle außerordentlich günstig, und *Laue* sprach auch sogleich *Ewald* gegenüber seine Vermutung aus.

- Ich selbst erfuhr von dem Gedanken *Laues* gelegentlich einer der wissenschaftlichen Aussprachen, die sich an unser Colloquium angeschlossen und den so erstrebenswerten Kontakt zwischen experimenteller und theoretischer Physik vermittelten, und die so reich an gegenseitiger Anregung waren. Mit dem Enthusiasmus, der der Jugend eigen ist, erklärte ich mich sofort bereit, einen einschlägigen Versuch zu machen, wenn auch zunächst sich die lebhafteste Diskussion für und wider die Realisierbarkeit der Idee entspann. Selbst die Einwände, die von be-

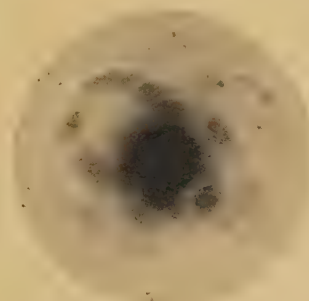


Fig. 2. Erste Interferenzaufnahme beim Durchgang von Röntgenstrahlen durch Kristalle.

rufenster Seite gemacht wurden, konnten *Laue* und mich nicht von dem Plane des Versuches abbringen. Zwar war ich als Assistent *Sommerfelds* zurzeit beschäftigt mit dem Aufbau einer Versuchsanordnung zur Untersuchung eines Problems zur Bremsstrahlung, der meine Zeit sehr in Anspruch nahm; indessen fanden wir bald eine willkommene Hilfe in *P. Knipping*, der soeben seine Doktorarbeit abgeschlossen hatte, und dem daher mehr Zeit zur Verfügung stand. So konnten Herr *Knipping* und ich die bekannte einfache Anordnung zusammenstellen, die hier nochmals in einer zwar etwas feineren Ausführung in Fig. 1 schematisch abgebildet sei.

Von den von der Antikathode einer Röntgenröhre ausgehenden Röntgenstrahlen wird ein schmales Bündel durch Blenden ausgeblendet. Dieses Bündel durchsetzt den Kristall *Kr*. Um den Kristall waren in verschiedenen Richtungen

photographische Platten angebracht, auf denen sich die Intensitätsverteilung der Sekundärstrahlen registrieren sollte. Gegen nicht gewollte Strahlen war die Anordnung durch Bleiwände geschützt.

Meine Erfahrungen über die Intensität der Sekundärstrahlen sagten mir, daß recht beträchtliche Expositionszeiten notwendig waren, um ein Resultat erwarten zu dürfen. Sonst wäre ja die Erscheinung längst gefunden worden, da gelegentlich des Suchens nach Doppelbrechung und Polarisation schon des öfteren Kristalle mit Röntgenstrahlen durchstrahlt worden waren. Glücklicherweise stand uns aus dem Institut für theoretische Physik ein größerer Induktor sowie eine Intensivröhre von Gundelach dank dem Entgegenkommen *Sommerfelds* zur Verfügung. Schwieriger gestaltete sich schon die Wahl eines geeigneten Kristalles. Wir glaubten anfangs, es mit einer Erscheinung der charakteristischen Sekundärstrahlung des Kristalles zu tun zu haben. Infolgedessen bewegten sich die ersten Versuche in einer ungünstigen Richtung. Die parallel zum Primärstrahl aufgestellten photographischen Platten zeigten nur wenig charakteristische Schwärzungserscheinungen. Wenn auch die Theorie der Interferenzerscheinung im Prinzip schon fertig war, so war sie doch von *Laue* noch nicht genauer durchgearbeitet; vor allen Dingen war die Form der Erscheinung noch nicht bekannt. Erst als wir auch eine Platte hinter dem Kristall aufstellten, erhielten wir nach mehrstündiger Expositionszeit das bekannte erste Photogramm der Interferenzerscheinung, das in Fig. 2 nochmals abgebildet sei. Es ist mir ein unvergeßliches Er-

lebnis, als ich spät abends ganz allein in meinem Arbeitszimmer des Institutes vor der Entwicklungsschale stand und die Spuren der abgelenkten Strahlen auf der Platte hervortreten sah. Am nächsten Tage war mein erster Gang in aller Frühe zu *P. Knipping*, um ihm die Platte zu zeigen. Wir eilten zu *Laue* und zu meinem Chef, wo die Aufnahme naturgemäß auf das lebhafteste besprochen wurde. Dank dem großen Interesse und Entgegenkommen *A. Sommerfelds* war es uns möglich, mit den reichlichen Mitteln des Institutes die Untersuchung weiter fortzusetzen. In hochherziger Weise wurde ich von meiner begonnenen Bremsstrahlenarbeit dispensiert. Auch *Röntgen* und *Groth*, die gleichfalls von den Versuchen erfahren hatten, ließen es an Unterstützungen durch Rat und Tat nicht fehlen. So wurde denn eine neue bessere Versuchsanordnung gebaut und bald zeigte uns die Durchstrahlung regulärer Kristalle in den kristallographisch ausgezeichneten Richtungen die volle Schönheit der Interferenzerscheinung in den bekannten Diagrammen. Unterdessen hatte *Laue* auch die Theorie der Erscheinung niedergeschrieben, und am 8. Juli 1912 konnte *Sommerfeld* der Münchener Akademie unsere bekannte Arbeit über Interferenzerscheinungen bei Röntgenstrahlen vorlegen, durch die die Wellennatur der Röntgenstrahlen endgültig bewiesen wurde.

Die außerordentliche Bedeutung der Laueschen Entdeckung für die Wissenschaft und Technik ist bekannt. Ganz neue Forschungsgebiete sind dadurch erschlossen worden. Ich schätze mich glücklich, daß ich einen, wenn auch bescheidenen, Teil zur Entdeckung beitragen konnte.

## Zehn Jahre Röntgenspektroskopie.

Von Paul Knipping, Berlin-Dahlem.

Nun sind zehn Jahre verflossen seit dem Tage, an dem das erste Lauediagramm zum erstenmal sichere Kunde gab von zwei vorher lange umstritten gewesenen Tatsachen, von der Wellennatur des Röntgenlichtes und der geordneten Struktur der Kristalle. Zehn Jahre sind eine kurze Zeit, gemessen am Fortschritt der Wissenschaft, und der größte Teil dieser Spanne war nicht sonderlich dazu angetan, wissenschaftliche Arbeiten leicht zu machen. Aber trotz aller Hemmungen ist unsere Erkenntnis in Riesensprüngen vorwärts gegangen, wie es selten bei einem Wissenszweig in gleich kurzer Zeit vorkommt.

Der Lauesche Gedanke war gleichsam der Schlüssel, mit dem früher verschlossen gewesene Gebiete von weit umfassender Bedeutung, wie das des Atombaues, der Strahlung, der Spektroskopie, des Kristallbaues aufgetan wurden. Die Spektroskopie des sichtbaren, wie des ultraviolett und ultraroten Teiles beispielsweise, die vordem jahr-

zehntelang im Dunkeln tastend, eine ganz eigenartige Wissenschaft, fast jeder führenden Theorie bar, gewesen war, wurde durch die Röntgenspektroskopie im Verein mit der fast gleichzeitig bekanntgewordenen Bohrschen Theorie auf eine verständliche Grundlage gehoben. Das Atom selbst, also der Körper, welcher ein Spektrum aussendet, vor zehn Jahren noch ein Buch mit sieben Siegeln, nach einem klassischen Ausspruch „komplizierter als ein Klavier“, ist uns jetzt bis in viele kleine Einzelheiten bekannt. Heute spricht jedermann vom Atomkern und seinen Elektronenhüllen, ja sogar beginnt man, dem Kern zu Leibe zu rücken und ihn weiter zu zerlegen. (In diesem Zusammenhang soll die *Astonsche* Massenspektroskopie, obwohl nicht hierher gehörend, nicht unerwähnt bleiben.) Angesichts der wunderbaren Errungenschaften, die sich wesentlich auf die Röntgenspektroskopie aufbauen, möge es heute erlaubt sein, in kurzen



Zügen ihre Methoden, Eigentümlichkeiten und Leistungen sich zu vergegenwärtigen.

Das erste Röntgenspektroskop haben wir seinerzeit eigenhändig hergestellt. Seine wesentlichen Teile waren ein Collimator, dargestellt durch ein mit zwei feinen Lochblenden  $B_1, B_2$  verschlossenes Rohr, das auf den Brennfleck der Antikathode  $A$  gerichtet, ein dünnes, fast paralleles Röntgenstrahlbündel auf den Kristall  $K$  fallen ließ. Der Kristall, anfangs von einer primitiven Justiervorrichtung getragen, später in exakter Weise auf einem kristallographischen Goniometer montiert, behielt während der Exposition seine Stellung bei. Die (wesentliche) Aufnahmeplatte  $P$  stand in der Verlängerung des Primärstrahles. Dessen Durchstoßungspunkt auf der Platte war dann nach der Aufnahme von einem System von Punkten umgeben, die nach der Laueschen Theorie durch Interferenz von Wellen der weißen Bremsstrahlung an den Gitterpunkten entstanden waren. Als Lichtquelle diente eine gewöhnliche technische Röntgenröhre, von deren Gesamtstrahlung nur bestimmte, zufällig passende Wellenlängen des kontinuierlichen Spektrums zur Interferenz gebracht wurden, während die Linien des Fluoreszenzspektrums überhaupt keinen Beitrag zu der Bilderzeugung lieferten. Insofern, als diese Methode nur ganz eng begrenzte Teile aus dem Röntgenspektrum isoliert, kommt ihr jetzt keine



Fig. 1. Lauesche Methode.

spektroskopische Bedeutung mehr zu, jedoch ist sie früher oft und mit Erfolg zu Zwecken der Kristallanalyse angewendet worden. Heute ist sie durch die im folgenden zu beschreibenden Methoden verdrängt, doch muß sie an erster Stelle genannt werden, weil sich alle weiteren Methoden auf ihr aufbauen.

Während v. Laue, wie oben gesagt, die Erscheinung durch Beugung erklärte, lehrten uns noch im gleichen Jahre Bragg, Vater und Sohn, sie als Spiegelung an den sogenannten Netzebenen des Kristalles aufzufassen. Diese Reflexion war von der bekannten optischen nicht verschieden, was die Gleichheit von Einfallswinkel und Reflexionswinkel angeht, aber eigener Art insofern, als sie nur dann für eine bestimmte Wellenlänge zustande kam, wenn eine bestimmte Beziehung zwischen dieser reflektierten Wellenlänge  $\lambda$  und dem Reflexionswinkel  $\varphi$ , heute konsequent „Glanzwinkel“ genannt, stattfand, die also lautet:

$$n\lambda = 2d \sin \varphi$$

wobei  $n$  eine kleine, ganze Zahl, die Ordnungszahl, und  $d$  den Abstand zweier Netzebenen darstellt.

Setzen wir, im einfachsten Fall, die Ordnungs-

zahl  $n = 1$ , und lassen wir die Reflexionen an einer bestimmten Kristallfläche eines bestimmten Kristalls vor sich gehen, etwa an der Würfel- fläche eines Steinsalzkristalles, so bleibt  $2d$  konstant und der obige Ausdruck reduziert sich zu dem Verhältnis:

$$\lambda \propto \sin \varphi$$

oder in Worten: der auffallende Primärstrahl wird in ein regelrechtes Spektrum, die Röntgenimpulsstrahlung in das kontinuierliche Spektrum, die Fluoreszenzstrahlung in das Linienspektrum zerlegt. Der hiermit ausgedrückte Gedanke läßt sich in verschiedener Weise experimentell verwirklichen. (Zunächst sei noch vermerkt, daß eine natürliche Kristalloberfläche oder eine Spaltfläche immer eine wichtige Netzebene ist.) Wir unterscheiden zunächst vier weitere Methoden:

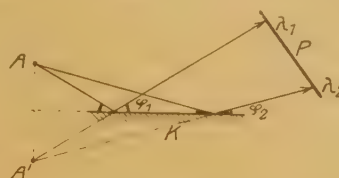


Fig. 2. Reflexionsmethode.

$A$  = Antikathode  
 $A'$  = ihr virtuelles Bild  
 $K$  = Kristall  
 $P$  = Platte  
 $\varphi_1 \cdot \varphi_2$  = zwei Glanzwinkel  
 $\lambda_1 \cdot \lambda_2$  = zwei zugehörige Wellenlängen

Bei der ersten steht der Kristall  $K$  fest. Er wird von einem weit geöffneten Strahlenbündel getroffen, und entsprechend den verschiedenen Einfallswinkeln  $\varphi_1, \varphi_2$ , die zugleich die Glanzwinkel sind, werden die verschiedenen Wellenlängen  $\lambda_1, \lambda_2$  nebeneinander auf der Platte  $P$  ausgebreitet. Dieses Verfahren, von Herweg, Seemann, Moseley angewandt, zeigte uns bereits 1913 in den Händen des letzteren die Linienstruktur der Fluoreszenzstrahlung. Seemann hat es weiterhin in einem Grade verbessert, daß es hoher

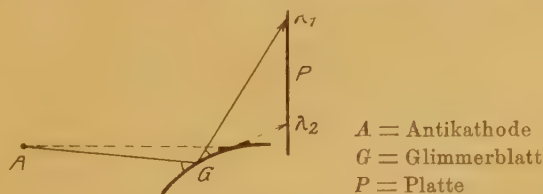


Fig. 3. Glimmerblattmethode.

Genauigkeit fähig ist (Schneiden-, Lochkamera-, Fenstermethode). Siegbahn hat den Apparat derart ausgebaut, daß er leicht und sicher zur chemischen Röntgenspektroanalyse verwendet werden kann.

Die zweite Methode, eigentlich nur eine Variante der ersten, ziemlich gleichzeitig von de Broglie und Lindemann sowie Rohmann ausgeführt, benutzt gleichfalls den feststehenden Kristall und ein weit geöffnetes Strahlenbündel, sie bringt aber die Variation in den Winkeln dadurch zustande, daß der Kristall, ein Glimmer-

blatt *G*, zu einem Kreisbogen gebogen ist. Das Zustandekommen des Spektrums, das Auseinanderlegen verschiedener Wellenlängen, ist nach der obigen Darlegung durch die Bezeichnungen auf der Figur ohne weiteres verständlich.

Als dritte Methode ist die von *Debye* und *Scherrer* erdachte zu nennen. Sie nimmt eine Sonderstellung ein, die dadurch charakterisiert wird, daß das Gitter nicht aus einem einzigen Kristall, sondern aus einem Pulver *P* von unzähligen vielen, durcheinanderliegenden, kleinsten Kristallsplittchen besteht, das von einem engen Primärbündel getroffen wird. Jede Netzebene, die in einigen der ungeordneten Kriställchen zufällig die richtige Orientierung besitzt, reflektiert die durch sie ausgesonderte Wellenlänge unter

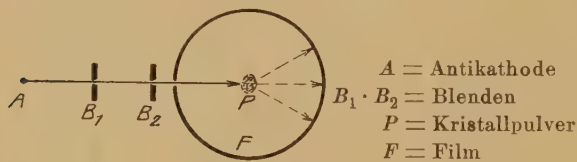


Fig. 4. Methode von *Debye* und *Scherrer*.

dem zugehörigen Winkel auf den Film *F*, der konzentrisch um das Präparat angebracht ist. Die Methode, der Analyse der Kristallstruktur unentbehrlich geworden, kommt indessen wegen der relativen Unschärfe der so erhaltenen Spektrallinien als rein spektroskopische weniger in Frage. Eine interessante Variation dieser Methode stammt von *Seemann* und *Bohlin*.

An vierter Stelle, aber als wichtigste, ist die von *de Broglie* und *Bragg* selbst benutzte Methode zu nennen, die wie die vorhergehende einen feinen, durch enge Blenden abgegrenzten Primärstrahl benutzt, der auf einen einheitlichen Kristall fällt. Diese Methode zeigt zwei wesent-

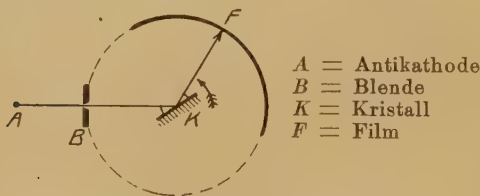


Fig. 5. Braggsche Methode.

liche Kennzeichen: einmal wird der Winkel  $\varphi$  mechanisch variiert, und zweitens werden durch richtige Dimensionierungen die Spektrallinien unter allen Umständen scharf. Die Winkeländerung wird dadurch erreicht, daß der Kristall durch ein Uhrwerk langsam und gleichmäßig gedreht wird (*gefiederter Pfeil*). Die Schärfe der Spektrallinien kommt dadurch zustande, daß der Abstand „Blende—Drehachse“ gleich dem Abstand „Drehachse—Film“ gemacht ist, und daß die Kristalloberfläche exakt durch die Drehachse geht. Demnach liegt der Film auf einem Kreisbogen, dessen Mittelpunkt die Drehachse ist. *Bragg* verwandte, ohne dadurch methodisch etwas

zu ändern, an Stelle der photographischen Registrierung eine Ionisierungsmethode. Dabei wurde die Ionisierungskammer mit der doppelten Winkelgeschwindigkeit wie der Kristall gedreht, und ihr Eintrittsspalt lag in der Ebene des Films.

Es ist bekannt, daß die Braggsche Methode den besonderen Vorzug genießt, daß kleine Störungen im Gefüge des Kristalles, die nie ganz auszuschließen sind, keine Verschlechterung des Spektrums mit sich bringen, während solche Kristallfehler bei nicht so gut entwickelten Methoden früher zu falschen Spektrallinien Anlaß gaben. Eine weitere Annehmlichkeit liegt in der Länge des so erhaltenen Spektrums. Die früheren Methoden nämlich gestatteten in Wirklichkeit nur mäßig geöffnete Büschel und damit keinen allzu großen Variationsbereich des Glanzwinkels und somit der Wellenlängen, so daß ein längeres Spektrum aus mehreren Teilaufnahmen zusammengesetzt werden muß. Bei der Braggschen Methode erhält man das Gesamtspektrum in einer einzigen Aufnahme. Die Methode wird dadurch zur Präzisionsmethode, daß infolge exakter Meßbarkeit von Abständen und Winkeln die Wellenlängen auf kleine Bruchteile eines Promille sicher werden.

Die Braggsche Methode ist später von *Siegbahn* in vollendeter Weise ausgebaut worden. Dieser Forscher (und seine Schule) hat wohl das Verdienst, wie kein anderer röntgenspektroskopisches Material zusammengetragen zu haben. Dadurch, daß er den Spektrographen gasdicht baute und sein Inneres evakuierte, schaltete er die Luftabsorption aus und fand und maß die weichen Anteile der Strahlung. Seinen Bemühungen verdanken wir, daß das Spektrum nach der langwelligen Seite weit über zehn A-E vorgezogen ist, wohingegen nach der kurzwelligen Seite radioaktive  $\gamma$ -Strahlung ( $\lambda$  bis 0,02 A-E, *Compton*, *Phys. Rev.* 1921) den Abschluß bildet.

Die größte, auf solche Weise zurzeit gemessene Röntgenwellenlänge ist durch die Gitterkonstante des betreffenden Kristalls gegeben. Da wir in bezug auf diese Größe wohl an eine unüberschreitbare Grenze gelangt sind, konnte es noch vor einem Jahre den Anschein haben, als ob es hoffnungslos wäre, jemals in das Zwischengebiet zwischen diesen langen Röntgenstrahlen und den Schumannwellen ( $\lambda = 1000$  A-E) vorzudringen. In diesem Wellenlängenbereich liegen aber gerade die charakteristischen Frequenzen der leichten Atome, über die wir bisher keine Kenntnis hatten. Dieses Gebiet ist nun von zwei Seiten in Angriff genommen, einerseits von *Lyman* und seinen Mitarbeitern, die im Jahre 1920 gezeigt haben, daß man mit Flußpathoptik oder Vakuumgitterapparaten bis zu Wellenlängen von etwa 250 A-E photographieren kann. Die *Lyman*-Serie, also die K-Strahlung des Wasserstoffatoms, ist ja schon seit langem bekannt, nun gelang die Auffindung der entsprechenden Serie für das nächst schwerere, das Heliumatom.

Während sich die eben genannten Methoden



durchaus an die bekannten spektroskopischen anlehnen und ihre Mittel benutzen, ist schließlich einer völlig andersartigen Arbeitsweise Erwähnung zu tun, die gleich bei der Entstehung des Röntgenstrahls die Meßwerkzeuge anlegt, und die faktisch die *K*-, *L*-Serien ganz leichter Atome hat finden lassen. *Franck* und *Knipping* haben anlässlich ihrer Arbeit über die Resonanzspannung und Ionisierungsspannung des Heliums bemerkt, daß unter Umständen auch die Linien durch Elektronenstoß angeregt werden, die auf die Resonanzlinie folgen. Weiter hat *Einsporn* im Quecksilberdampf eine Anzahl von neuen Linien durch Elektronenstoß bekommen. In beiden Fällen konnte gezeigt werden, daß die betreffenden Anregungsspannungen, nach der Einsteinschen Beziehung

$$eV = \frac{hc}{\lambda}$$

in Wellenlängen umgerechnet, exakt mit der Lage von bekannten (Hg-) resp. eben bekanntgewordenen (He-)Linien übereinstimmen. So war es durchaus gerechtfertigt, seinerzeit diese Methode als Ultravioletspektroskopie zu bezeichnen. Diese Arbeitsweise, die im Grunde genommen auf *Dember* zurückgeht, ist auch auf das Röntgengebiet angewendet worden und soll als fünfte röntgenspektroskopische Methode bezeichnet und kurz erläutert werden.

Sie ist dadurch charakterisiert, daß man aus einem als Kathode dienenden Glühdraht *K* Elektronen (gefiederter Pfeil) austreten läßt, die unter dem Einfluß eines variierbaren Beschleunigungsfeldes (durch die Batterie *B* und den als Spannungsteiler dienenden Widerstand *W*) beschleunigt auf die Anode *A* fallen, wo sie

Strahlung erzeugen, die durch die lichtelektrische Erregung an der Auffangevorrichtung *L* nachgewiesen wird. Die Anode wird dabei mit den zu untersuchenden Substanzen bedeckt. Auf diese Weise gelang es, kürzlich *Kurth* (Phys. Rev. 1921), die *K*- und *L*-Strahlung von Kohlenstoff und Sauerstoff sowie die *M*- und *N*-Serie von Eisen und Kupfer nachzuweisen. In ähnlicher

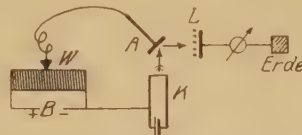


Fig. 6. Lichtelektrische Methode.

*K* = Glühkathode                      *W* = Potentiometerwiderstand  
*A* = Antikathode  
*B* = Beschleunigungsbatterie      *L* = Lichtelektrischer Auffänger.

Weise haben *Mohler* und *Foot*e (ebenda) die Strahlung von Kalium, Natrium und Magnesium, *Richardson* und *Bazzoni* (Phil. Mag. 1921) die *K*-Strahlung des Kohlenstoffs und die *M*-Strahlung des Molybdäns gemessen. Die gefundenen Wellenlängen sind sowohl untereinander, soweit sie vorliegen, als auch mit den theoretisch errechneten in guter Übereinstimmung.

In den genannten Arbeiten sind bis jetzt Wellenlängen bis 375 Å-E erreicht, so daß wir nun tatsächlich die Lücke zwischen den kurzen ultravioletten Wellen und den Röntgenstrahlen geschlossen sehen. So genießen wir die schöne Aussicht, nach Vervollkommen der eben genannten Methode in Bälde die gesamten Röntgenlinien sämtlicher bekannter Elemente zu besitzen, kaum, daß das erste Jahrzehnt nach der Laueschen Entdeckung verflossen ist.

## Bericht über neuere Ergebnisse der Röntgenspektroskopie.

Von Gregor Wentzel, München.

Man kennt heute drei prinzipiell verschiedene Methoden der Röntgenwellenlängenmessung: 1. die spektrale Zerlegung der Röntgenstrahlen durch Beugung in Kristallen, wobei die Wellenlängen gemäß der Gleichung:

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

direkt mit der Kristallgitterkonstanten verglichen werden; 2. die Methode des Elektronenstoßes, bei welcher Anregungsspannungen gemessen und vermittelt der Gleichung:

$$eV = \frac{hc}{\lambda}$$

auf Wellenlängen von Absorptionskanten umgerechnet werden; 3. die Bestimmung von Geschwindigkeiten sekundärer (photoelektrischer) Kathodenstrahlen durch magnetische Ablenkung, von wo aus man mittels der Gleichung:

$$\frac{mv^2}{2} = hc \left( \frac{1}{\lambda_p} - \frac{1}{\lambda_s} \right)$$

auf die charakteristischen Wellenlängen  $\lambda_p$  und  $\lambda_s$  des primären bzw. sekundären Radiators schließen kann<sup>1)</sup>. Von diesen drei Methoden liefert die erste, die unmittelbar auf der Laueschen Entdeckung fußt, weitaus die genauesten Resultate. Die beiden anderen Methoden haben bisher noch keine wesentlich neuen Zahlenergebnisse geliefert und können im folgenden ohne Schaden übergangen werden; doch versprechen sie für die Wellenlängenmessung der ganz harten Röntgenstrahlen und der  $\gamma$ -Strahlen<sup>2)</sup> wertvoll zu werden, wo die Laue-Braggsche Methode wegen der relativen Größe der Kristallgitterkonstanten versagt.

<sup>1)</sup> Vgl. etwa *M. de Broglie*, J. de Physique, Sept. 1921, S. 265.

<sup>2)</sup> Vgl. *Ellis*, Proc. Roy. Soc. 99A, 261 (1921).

Faßt man den Begriff der Röntgenstrahlung weiter und versteht darunter die Eigenstrahlung der inneren Atomschalen überhaupt, so kann man sagen, daß die Röntgenlinien der leichtesten Elemente mit optischen Mitteln im Ultraviolettengängig sind, und man hat als vierte Meßmethode die der Beugung an sehr engen Strichgittern hinzuzufügen. Durch diese hat *Millikan*<sup>3)</sup> neuerdings die *L*-Serie von 13 Al, 12 Mg und 11 Na messen und den Übergang der *L*-Serie in die optischen Spektren von 9 F bis 3 Li abwärts verfolgen können. Da aber *Millikan* sein Zahlenmaterial noch nicht in vollem Umfang veröffentlicht hat, verzichten wir auf Angabe seiner Ergebnisse, zumal es im Rahmen dieser Laue-Festschrift überhaupt angebracht ist, sich auf die Ergebnisse der erstgenannten Methode, der Spektralanalyse durch Kristallgitter, zu beschränken.

Wir stellen zunächst in Abschnitt I die zurzeit zuverlässigsten Meßresultate zusammen und geben dann in Abschnitt II einen gedrängten Überblick über die Systematik der Röntgenspektren.

### I. Zahlenangaben.

Die folgenden Tabellen enthalten die gemessenen Wellenlängen  $\lambda$  in *X*-Einheiten ( $1X = 10^{-11}$  cm) und die daraus berechneten Frequenzen  $\nu = 1/\lambda$  in Vielfachen der Rydbergzahl  $R = 109\,737\text{ cm}^{-1}$ . Sämtliche Zahlen sind nach dem Vorgang von *Siegbahn* auf Steinsalz  $d = 2,814\,00 \cdot 10^{-8}$  cm (auf Kalkspat  $d = 3,029\,04 \cdot 10^{-8}$  cm) bezogen. Die amerikanischen Messungen, die ursprünglich mit Bezug auf Kalkspat  $d = 3,028 \cdot 10^{-8}$  angegeben sind, wurden dementsprechend korrigiert.

**A. Absorptionskanten.** Für die *K*-Grenze (Tab. 1) liegen systematische Messungen von leichtesten bis zu schwersten Elementen von seiten verschiedener Beobachter vor: *Fricke*, *Phys. Rev.* 16, 202; 1920 (Elemente 12 Mg bis 24 Cr); *Duane* und *Kang-Fuh-Hu*, *Phys. Rev.* 14, 516; 1919 (Elemente 25 Mn bis 58 Ce); *Siegbahn* und *Jönsson*, *Physikal. Zeitschr.* 20, 251; 1919 (Elemente 59 Pr bis 67 Ho); *Duane* und *Stenström*, *Proc. Nat. Acad.* 6, 477; 1920 (74 W); *Duane*, *Fricke* und *Stenström*, *Proc. Nat. Acad.* 6, 607; 1920 (Elemente 78 Pt bis 92 U). Die 3 *L*-Grenzen (Tab. 2) sind nur bei einer Gruppe mittlerer Elemente (55 Cs bis 60 Nd) von *G. Hertz* (*Zs. f. Phys.* 3, 19; 1920) und bei den schweren Elementen (74 W bis 92 U) von *Duane* und *Patterson* (*Proc. Nat. Acad.* 6, 509; 1920) präzisionsmäßig gemessen. Die *M*-Grenzen (Tab. 3) endlich, 5 an der Zahl, sind nur bei schwersten Elementen bekannt;  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  sind bei U und Th von *W. Stenström* (*Diss. Lund* 1919) gemessen; die übrigen Angaben der Tabelle 3 gehen auf *D. Coster* (*Zs. f. Phys.* 5, 139; 1921, und *C. R.* 172, 1176; 1921) zurück. Bezüglich der Feinstruktur der Absorptionskanten muß auf die

<sup>3)</sup> *R. A. Millikan*, *Proc. Nat. Acad.* 7, 289 (1921).

Originalarbeiten von *Fricke*, *Hertz* und *Stenström* verwiesen werden.

Tabelle 1.

*K*-Grenze,  $\lambda$  und  $\nu/R$ .

| Element    | $\lambda$ | $\nu/R$ | Element    | $\lambda$ | $\nu/R$ |
|------------|-----------|---------|------------|-----------|---------|
| 12 Mg..... | 9511,2    | 95,81   | 45 Rh..... | 533,2     | 1709,1  |
| 13 Al..... | 7947,0    | 114,67  | 46 Pd..... | 507,7     | 1794,9  |
| 15 P.....  | 5758,0    | 158,26  | 47 Ag..... | 485,2     | 1878,1  |
| 16 S.....  | 5012,3    | 181,81  | 48 Cd..... | 463,4     | 1966,5  |
| 17 Cl..... | 4384,4    | 207,84  | 49 In..... | 443,6     | 2054,3  |
| 18 A.....  | 3865,7    | 235,73  | 50 Sn..... | 424,3     | 2147,7  |
| 19 K.....  | 3434,5    | 265,33  | 51 Sb..... | 406,6     | 2241,2  |
| 20 Ca..... | 3063,3    | 297,48  | 52 Te..... | 389,7     | 2338,4  |
| 21 Sc..... | 2751,7    | 331,17  | 53 J.....  | 373,8     | 2487,9  |
| 22 Ti..... | 2493,7    | 365,43  | 55 Cs..... | 344,5     | 2645,2  |
| 23 V.....  | 2265,3    | 402,27  | 56 Ba..... | 330,8     | 2754,7  |
| 24 Cr..... | 2067,5    | 441,14  | 57 La..... | 318,9     | 2857,5  |
| 25 Mn..... | 1889,8    | 482,20  | 58 Ce..... | 306,9     | 2969,3  |
| 26 Fe..... | 1740,2    | 523,66  | 59 Pr..... | 294,6     | 3093    |
| 27 Co..... | 1602,3    | 568,73  | 60 Nd..... | 283,5     | 3214    |
| 28 Ni..... | 1489,5    | 611,80  | 62 Sm..... | 263,6     | 3457    |
| 29 Cu..... | 1379,0    | 660,82  | 63 Eu..... | 254,3     | 3584    |
| 30 Zn..... | 1296,7    | 702,76  | 64 Gd..... | 245,6     | 3710    |
| 31 Ga..... | 1190,6    | 765,39  | 66 Ds..... | 229,4     | 3972    |
| 32 Ge..... | 1115,0    | 817,28  | 67 Ho..... | 221,4     | 4116    |
| 33 As..... | 1043,9    | 872,95  | 74 W.....  | 178,12    | 5116,0  |
| 34 Se..... | 979,3     | 930,53  | 78 Pt..... | 158,2     | 5760    |
| 35 Br..... | 918,2     | 992,45  | 79 Au..... | 153,5     | 5937    |
| 37 Rb..... | 814,6     | 1118,7  | 80 Hg..... | 149,2     | 6108    |
| 38 Sr..... | 769,9     | 1183,6  | 81 Tl..... | 144,8     | 6293    |
| 39 Y.....  | 725,7     | 1255,7  | 82 Pb..... | 141,0     | 6463    |
| 40 Zr..... | 687,4     | 1325,7  | 83 Bi..... | 137,2     | 6642    |
| 41 Nb..... | 650,5     | 1400,9  | 90 Th..... | 113,1     | 8057    |
| 42 Mo..... | 618,2     | 1474,1  | 92 U.....  | 107,5     | 8477    |
| 44 Ru..... | 558,6     | 1631,3  |            |           |         |

Tabelle 2.

*L*-Grenzen,  $\lambda$  und  $\nu/R$ .

| Element    | $\lambda$ |        |       | $\nu/R$ |        |        |
|------------|-----------|--------|-------|---------|--------|--------|
|            | $L_1$     | $L_2$  | $L_3$ | $L_1$   | $L_2$  | $L_3$  |
| 55 Cs..... | 2459      | 2299   | 2157  | 370,6   | 396,4  | 422,5  |
| 56 Ba..... | 2348      | 2194   | 2063  | 388,1   | 415,3  | 441,7  |
| 57 La..... | 2250      | 2098   | 1971  | 405,0   | 434,4  | 462,3  |
| 58 Ce..... | 2158      | 2007   | 1887  | 422,3   | 454,0  | 482,9  |
| 59 Pr..... | 2071      | 1922   | 1808  | 440,0   | 474,1  | 504,0  |
| 60 Nd..... | 1992      | 1842   | 1736  | 457,5   | 494,7  | 524,9  |
| 74 W.....  | 1214,0    | 1073,0 | 1024  | 750,63  | 849,27 | 889,9  |
| 78 Pt..... | 1070,9    | 932,4  | 888,8 | 850,94  | 977,34 | 1025,3 |
| 79 Au..... | 1038,7    | 899,6  | 860,9 | 877,32  | 1013,0 | 1058,5 |
| 80 Hg..... | 1007,0    | 870,3  | 833,8 | 904,93  | 1047,1 | 1092,9 |
| 81 Tl..... | 977,9     | 841,8  | 805,8 | 931,86  | 1082,5 | 1130,9 |
| 82 Pb..... | 950,0     | 813,6  | 780,6 | 959,23  | 1120,0 | 1167,4 |
| 83 Bi..... | 921,9     | 787,5  | 753,5 | 988,47  | 1157,2 | 1209,4 |
| 90 Th..... | 759,9     | 628,8  | 604,6 | 1199,2  | 1449,2 | 1507,2 |
| 92 U.....  | 721,6     | 592,0  | 568,7 | 1262,8  | 1539,3 | 1602,4 |



Tabelle 3.  
M-Grenzen,  $\lambda$  und  $\nu/R$ .

| Element     | $\lambda$ |        |        |       |       | $\nu/R$ |        |        |       |       |
|-------------|-----------|--------|--------|-------|-------|---------|--------|--------|-------|-------|
|             | $M_1$     | $M_2$  | $M_3$  | $M_4$ | $M_5$ | $M_1$   | $M_2$  | $M_3$  | $M_4$ | $M_5$ |
| 83 Bi ..... | 4762,1    | 4569,1 | 3896   |       |       | 191,36  | 199,44 | 233,9  |       |       |
| 90 Th ..... | 3721,3    | 3552,3 | 3058,5 | 2571  | 2388  | 244,90  | 256,55 | 297,99 | 354,4 | 381,6 |
| 92 U .....  | 3490,7    | 3325,5 | 2873,4 | 2385  | 2229  | 261,03  | 273,99 | 317,18 | 382,1 | 408,9 |

B. Emissionslinien. Die Tabellen 4 bis 11 geben, für  $\lambda$  und  $\nu/R$  getrennt, eine Übersicht über die zurzeit vorliegenden Präzisionsmessungen der K-, L- und M-Serie. In den Tabellenköpfen ist außer den Linienbezeichnungen, die zum Teil bei den verschiedenen Autoren voneinander abweichen, die Termdarstellung der einzelnen Linien angegeben, unter teilweiser Vornahme der im II. Abschnitt skizzierten Liniensystematik. Linien, die nur bei einem Element gemessen und bei den Nachbarelementen nicht einwandfrei festgestellt werden konnten, sind nicht in die Tabelle aufgenommen, aber im Text erwähnt.

1. K-Serie (Tab. 4 und 5). Die in Tab. 4 an-

geführten K-Wellenlängen der Elemente 11 Na bis 30 Zn sind sämtlich im Siegbahnschen Laboratorium in Lund gemessen; die diesbezüglichen Originalabhandlungen sind: Siegbahn, Ann. d. Phys. 59, 56; 1919, E. Hjalmar, Zs. f. Phys. 1, 439; 1920 u. 7, 341; 1921, N. Stenstrom, Zs. f. Phys. 3, 60; 1920. Von den schwereren Elementen sind nur einzelne präzisionsmäßig gemessen<sup>4)</sup>: 31 Ga von Uhler u. Cooksey, Phys. Rev. 10, 645; 1917; 42 Mo von Duane, Bull. Nat. Research Council 1, 383; 1920, S. 393; 45 Rh von Duane u. Kang-Fuh-Hu, Phys. Rev. 11, 489; 1918, und 14, 369; 1919; 74 W von Duane u. Stenstrom, Proc. Nat. Acad. 6, 477; 1920. Die  $\beta'$ -Linie von 45 Rh und 74 W ist von de Broglie (C. R. 170, 1053

Tabelle 4.  
K - Serie,  $\lambda$ .

|             | $\alpha', \alpha_2$<br>K-L <sub>2</sub> | $\alpha, \alpha_1$<br>K-L <sub>1</sub> | $\alpha_1', \alpha_7$ | $\alpha_3$ | $\alpha_1$ | $\alpha_5$ | $\alpha_6$ | $\beta_3, \beta'$ | $\beta, \beta_1$<br>K-M <sub>3</sub> | $\beta''$ | $\gamma, \beta_2$<br>K-N <sub>3</sub> |
|-------------|---|--|-----------------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|--------------------------------------|-----------|---------------------------------------|
| 11 Na ..... | 11 883,6                                |  | 11835                 | 11802,4    | 11781,4    | —          | —          | —                 | 11591                                | —         | —                                     |
| 12 Mg ..... | 9 867,75                                |  | 9826,5                | 9799,40    | 9786,20    | 9730,2     | 9711,8     | 9647              | 9534,50                              | —         | —                                     |
| 13 Al ..... | 8 319,40                                |  | 8285,60               | 8264,60    | 8253,00    | 8205,80    | 8189,20    | 8025              | 7940,50                              | —         | —                                     |
| 14 Si ..... | 7 109,17                                |  | 7033                  | 7063,82    | 7053,72    | 7014       | 7003       | 6793,3            | 6739,33                              | —         | —                                     |
| 15 P .....  | 6 141,71                                |  | —                     | 6102,19    | 6095,00    | —          | —          | 5820,4            | 5785,13                              | —         | —                                     |
| 16 S .....  | 5363,75                                 | 5360,90                                | 5340,6                | 5329,37    | 5323,25    | 5262,6     | —          | 5045,0            | 5021,2                               | —         | 5012,7                                |
| 17 Cl ..... | 4721,85                                 | 4718,70 <sup>5)</sup>                  | 4702,5                | 4688       | 4684       | —          | —          | —                 | 4394,50                              | 4390,8    | —                                     |
| 19 K .....  | 3737,25                                 | 3733,86 <sup>5)</sup>                  | 3718,7                | 3711,0     | 3708,8     | —          | —          | —                 | 3446,38                              | 3442,46   | 3434,(6)                              |
| 20 Ca ..... | 3355,12                                 | 3351,86 <sup>5)</sup>                  | 3339,86               | 3332,3     | 3330,0     | —          | —          | —                 | 3082,97                              | 3079,57   | 3067,40                               |
| 21 Sc ..... | 3023,63                                 | 3025,26 <sup>5)</sup>                  | —                     | 3006       | —          | —          | —          | —                 | 2773,66                              | —         | 2755,(5)                              |
| 22 Ti ..... | —                                       | —                                      | —                     | 2726,9     | —          | —          | —          | 2515,06           | 2508,74                              | —         | 2493,67                               |
| 23 V .....  | —                                       | —                                      | —                     | 2484,6     | —          | —          | —          | 2285,26           | 2279,63                              | —         | 2265,37                               |
| 24 Cr ..... | 2289,28                                 | 2285,17                                | —                     | 2273,3     | —          | —          | —          | 2086,31           | 2081,44                              | —         | —                                     |
| 26 Fe ..... | 1936,60                                 | 1932,39                                | —                     | 1923,30    | —          | —          | —          | 1756,60           | 1752,72                              | —         | 1740,76                               |
| 27 Co ..... | 1789,52                                 | 1785,24                                | —                     | 1777,4     | —          | —          | —          | —                 | 1617,15                              | —         | 1606                                  |
| 28 Ni ..... | 1658,60                                 | 1654,67                                | —                     | 1647,6     | —          | —          | —          | 1493,11           | 1496,69                              | —         | 1484,03                               |
| 29 Cu ..... | 1541,22                                 | 1537,36 <sup>5)</sup>                  | —                     | 1530,75    | —          | —          | —          | —                 | 1388,87                              | —         | 1377,4                                |
| 30 Zn ..... | —                                       | 1431,9                                 | —                     | 1428,8     | —          | —          | —          | —                 | 1292,50                              | —         | 1279,15                               |
| 31 Ga ..... | 1341,61                                 | 1337,85                                | —                     | —          | —          | —          | —          | —                 | 1205,91                              | —         | —                                     |
| 42 Mo ..... | 712,36                                  | 703,07                                 | —                     | —          | —          | —          | —          | 632               | 631,31                               | —         | 619,9                                 |
| 45 Rh ..... | 616,6                                   | 612,3                                  | —                     | —          | —          | —          | —          | 546,1             | 545,5                                | —         | 534,4                                 |
| 74 W .....  | 213,43                                  | 208,67                                 | —                     | —          | —          | —          | —          | 185,0             | 184,26                               | —         | 179,07                                |

<sup>4)</sup> Die älteren Messungen aus den Jahren 1915/16 sind hier nicht mitgeteilt, da man die betr. Wellenlängen genauer durch Intrapolation mittels der Moseleyschen Formel erhält.

<sup>5)</sup> Herr M. Siegbahn hat nach freundlicher brieflicher Mitteilung bei den Elementen 17 Cl bis 21 Sc einen weiteren kurzwelligen Ka-Begleiter in engster Nachbarschaft der Hauptlinie gemessen; Cl:  $\lambda = 4712$ ,

$\nu/R = 193,4$ ; K:  $\lambda = 3730$ ,  $\nu/R = 244,3$ ; Ca:  $\lambda = 3349$ ,  $\nu/R = 272,1$ ; Sc:  $\lambda = 3023$ ,  $\nu/R = 301,4$ . Die Werte für  $\alpha_1', \alpha_3, \alpha_1$  bei den Elementen 17 Cl bis 30 Zn sind derselben Mitteilung entnommen.

<sup>6)</sup> Siegbahn, der in allerjüngster Zeit die Genauigkeit seiner Messungen abermals um eine Dezimale vorgetrieben hat, gibt neuerdings (C. R. 173, 1350, 1921) die Wellenlänge der Ka-Linie von Cu zu 1537,302 Å.-E. an

Tabelle 5.  
K - Serie,  $\nu/R$ .

|             | $\alpha', \alpha_2$<br>K— $L_2$ | $\alpha, \alpha_1$<br>K— $L_1$ | $\alpha_1', \alpha_7$ | $\alpha_3$ | $\alpha_4$ | $\alpha_5$ | $\alpha_6$ | $\beta_3, \beta'$ | $\beta, \beta_1$<br>K— $M_3$ | $\beta''$ | $\gamma, \beta_2$<br>K— $N_5$ |
|-------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|------------------------------|-----------|-------------------------------|
| 11 Na ..... | 76,68                           |                                | 76,99                 | 77,21      | 77,34      | —          | —          | —                 | 78,62                        | —         | —                             |
| 12 Mg ..... | 92,35                           |                                | 92,73                 | 92,99      | 93,11      | 93,65      | 93,83      | 94,46             | 95,58                        | —         | —                             |
| 13 Al ..... | 109,53                          |                                | 109,98                | 110,26     | 110,41     | 111,05     | 111,27     | 113,55            | 114,76                       | —         | —                             |
| 14 Si ..... | 128,18                          |                                | 128,65                | 120,02     | 129,18     | 129,92     | 130,12     | 134,15            | 135,22                       | —         | —                             |
| 15 P .....  | 148,37                          |                                | —                     | 149,33     | 149,51     | —          | —          | 156,56            | 157,52                       | —         | —                             |
| 16 S .....  | 169,89                          | 169,98                         | 170,62                | 170,98     | 171,18     | 173,1      | —          | 180,62            | 181,48                       | —         | 181,79                        |
| 17 Cl ..... | 192,99                          | 193,12                         | 193,78                | 194,4      | 194,5      | —          | —          | —                 | 207,37                       | 207,54    | —                             |
| 19 K .....  | 243,83                          | 244,06                         | 245,04                | 245,56     | 245,70     | —          | —          | —                 | 264,41                       | 264,71    | 265,3                         |
| 20 Ca ..... | 271,61                          | 271,87                         | 272,85                | 273,47     | 273,65     | —          | —          | —                 | 295,58                       | 295,91    | 297,08                        |
| 21 Sc ..... | 300,88                          | 301,22                         | —                     | 303,1      | —          | —          | —          | —                 | 328,54                       | —         | 330,7                         |
| 22 Ti ..... | —                               | —                              | —                     | 334,18     | —          | —          | —          | 362,32            | 363,24                       | —         | 365,43                        |
| 23 V .....  | —                               | —                              | —                     | 366,77     | —          | —          | —          | 398,76            | 399,73                       | —         | 402,26                        |
| 24 Cr ..... | 398,06                          | 398,78                         | —                     | 400,86     | —          | —          | —          | 436,78            | 437,81                       | —         | —                             |
| 26 Fe ..... | 470,55                          | 471,58                         | —                     | 473,80     | —          | —          | —          | 518,77            | 519,92                       | —         | 523,49                        |
| 27 Co ..... | 509,23                          | 510,45                         | —                     | 512,70     | —          | —          | —          | —                 | 563,50                       | —         | 567,4                         |
| 28 Ni ..... | 549,42                          | 550,73                         | —                     | 553,09     | —          | —          | —          | 608,28            | 608,86                       | —         | 614,05                        |
| 29 Cu ..... | 591,26                          | 592,75                         | —                     | 595,31     | —          | —          | —          | —                 | 656,12                       | —         | 661,59                        |
| 30 Zn ..... | —                               | 636,42                         | —                     | 637,79     | —          | —          | —          | —                 | 705,04                       | —         | 712,40                        |
| 31 Ga ..... | 679,23                          | 681,14                         | —                     | —          | —          | —          | —          | —                 | 755,67                       | —         | —                             |
| 42 Mo ..... | 1279,2                          | 1287,0                         | —                     | —          | —          | —          | —          | 1442              | 1443,5                       | —         | 1470,0                        |
| 45 Rh ..... | 1477,9                          | 1488,3                         | —                     | —          | —          | —          | —          | 1669              | 1670,5                       | —         | 1705,2                        |
| 74 W .....  | 4268,6                          | 4367,0                         | —                     | —          | —          | —          | —          | 4926              | 4945,6                       | —         | 5088,9                        |

n. 1245; 1920) relativ zu  $\beta_1$  gemessen; sie entspricht der Kombination K— $M_4$ . Die bei den Elementen  $Z < 30$  beobachteten weichen  $\beta$ -Begleiter sind nicht mit dieser de Broglieschen  $\beta'$ -Linie zu identifizieren. Bei den Elementen 12 Mg bis 15 P ist von Hjalmar außer dem angeführten noch ein weiterer weicher  $\beta$ -Begleiter beobachtet und bei 14 Si zu  $\lambda = 6744,2$ ,  $\nu/R = 135,12$  gemessen. Ferner haben Duane und Stenström (l. c.) bei W einen zweiten weichen  $\alpha$ -Begleiter entdeckt, welcher der  $\alpha'$ -Linie eng benachbart ist und innerhalb der Fehlergrenzen durch die Termdifferenz K— $L_3$  dargestellt wird:  $\lambda = 215 \pm 1$ ,  $\nu/R = 4239 \pm 20$ .

Für die schwächeren K-Linien ist in den Tabellenköpfen keine Termdarstellung angegeben; im normalen Niveauschema ist kein Platz für sie. Wie Verf. kürzlich gezeigt hat, sind sie als eine Art „Funkenlinien“ im Röntgenspektrum zu deuten, nämlich als Emissionen eines im Innern zwei- oder dreifach ionisierten Atoms.

2. L-Serie. Die umfangreichen Messungen der L-Serie geben wir in zwei Gruppen für die mittleren und schweren Elemente getrennt. Tab. 6 und 7 enthalten die Präzisionsmessungen der Elemente 29 Cu bis 73 Ta von E. Hjalmar (Zs. f. Phys. 7, 341; 1921), welche sich nur auf die intensivsten Linien erstrecken und auch bei diesen teilweise lückenhaft sind. Bei 58 Ce und 59 Pr hat Hjalmar einige zerstreute Linien gemessen; doch weist Dauvillier (C. R. 173, 1458; 1921) nach, daß diese (sowie einige von Friman

beobachtete Linien) von Verunreinigungen herühren. Die Linie  $\alpha_3$ , die ohne Termdarstellung angeführt ist, ist eine Funkenlinie in dem oben angegebenen Sinne.

Eine weit eingehendere Musterung haben die L-Spektren der Elemente 73 Ta bis 92 U durch D. Coster (Zs. f. Phys. 6, 185; 1921) und A. Dauvillier (C. R. 173, 647; 1921) erfahren; letzterer hat neuerdings (C. R. 173, 1458; 1921) auch 51 Sb und 58 Ce genauer untersucht. Die Tabellen 8 und 9 enthalten die Messungen beider Autoren für jedes Element untereinanderstehend, durch ein C oder D am Anfang der Zeile voneinander unterschieden; die Übereinstimmung der voneinander unabhängigen Messungen ist, wenigstens bei den intensivsten Linien, überraschend gut. Bei 51 Sb, 58 Ce und 73 Ta sind die Hjalmarschen Zahlen aus den Tabellen 6 und 7 (unter dem Buchstaben H) wiederholt; auch hier ist die Übereinstimmung befriedigend. — Sämtliche Linien sind einerseits in der Art von Moseley-Sommerfeld (obere Zeile), andererseits in der Art von Siegbahn-Dauvillier (untere Zeile) bezeichnet; wo die Costersche Bezeichnung von der Dauvillierschen abweicht, ist sie in Klammern hinzugefügt. Die Sommerfeldsche Bezeichnung erstreckt sich nur auf diejenigen Linien, die dem Auswahlprinzip gehorchen (vgl. Abschnitt II). — Der Übersichtlichkeit wegen ist die ganze L-Serie, gemäß der Zugehörigkeit der einzelnen Linien zu den drei Endniveaus  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ , in eine  $L_1$ -,  $L_2$ - und  $L_3$ -Serie zerlegt. Linien der  $L_1$ - und  $L_2$ -Serie, die das gleiche Anfangs-

7) G. Wentzel, Ann. d. Phys. 66, 437; 1921.



Tabelle 6.  
*L-Serie, 29 Cu bis 73 Ta,  $\lambda$ .*

|             | $\alpha', \alpha_2$<br>$L_1 - M_2$ | $\alpha, \alpha_1$<br>$L_1 - M_1$ | $\alpha_3$ | $\beta, \beta_1$<br>$L_2 - M_2$ | $\varphi', \beta_4$<br>$L_3 - M_4$ | $\varphi, \beta_3$<br>$L_3 - M_3$ | $\gamma, \beta_2$<br>$L_1 - N_3$ | $\delta, \gamma_1$<br>$L_2 - N_4$ |
|-------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 29 Cu ..... | —                                  | 13309,1                           | —          | —                               | —                                  | —                                 | —                                | —                                 |
| 30 Zn ..... | —                                  | 12222,5                           | —          | 11951                           | —                                  | —                                 | —                                | —                                 |
| 32 Ge ..... | —                                  | 10413,6                           | —          | —                               | —                                  | —                                 | —                                | —                                 |
| 33 As ..... | —                                  | 9650,3                            | 9617,3     | 9394,0                          | —                                  | —                                 | —                                | —                                 |
| 34 Se ..... | —                                  | 8970,6                            | 8938,6     | 8717,2                          | —                                  | —                                 | —                                | —                                 |
| 35 Br ..... | —                                  | 8356,6                            | 8326,2     | 8107,6                          | —                                  | —                                 | —                                | —                                 |
| 37 Rb ..... | —                                  | 7302,7                            | 7272,7     | 7060,4                          | —                                  | —                                 | —                                | —                                 |
| 38 Sr ..... | —                                  | 6847,8                            | 6818,3     | 6609,2                          | —                                  | —                                 | —                                | —                                 |
| 39 Y .....  | —                                  | 6434,9                            | 6406,5     | 6198,4                          | —                                  | —                                 | —                                | —                                 |
| 40 Zr ..... | —                                  | 6055,9                            | 6027,2     | 5822,8                          | —                                  | —                                 | —                                | —                                 |
| 41 Nb ..... | —                                  | 5711,3                            | 5688,6     | 5479,6                          | —                                  | —                                 | 5295,1                           | —                                 |
| 42 Mo ..... | —                                  | 5394,3                            | 5372,1     | 5165,8                          | —                                  | —                                 | —                                | 4711,1                            |
| 44 Ru ..... | 4843,67                            | 4835,67                           | —          | 4611,00                         | —                                  | —                                 | —                                | 4172,82                           |
| 45 Rh ..... | 4595,56                            | 4587,78                           | —          | 4364,00                         | —                                  | —                                 | —                                | 3935,7                            |
| 46 Pd ..... | 4366,60                            | 4358,50                           | —          | 4137,30                         | —                                  | —                                 | —                                | 3716,36                           |
| 47 Ag ..... | 4153,82                            | 4145,64                           | 4131,70    | 3926,64                         | 3861,09                            | 3824,45                           | 3693,83                          | 3514,85                           |
| 48 Cd ..... | 3956,36                            | 3947,82                           | —          | 3730,08                         | 3674,25                            | 3636,42                           | —                                | 3328,00                           |
| 49 In ..... | 3772,42                            | 3763,67                           | 3749,91    | 3547,83                         | —                                  | —                                 | —                                | 3155,29                           |
| 50 Sn ..... | 3601,08                            | 3592,18                           | —          | 3377,92                         | —                                  | 3297,68                           | 3163,84                          | 2994,93                           |
| 51 Sb ..... | 3440,75                            | 3431,77                           | —          | 3218,36                         | —                                  | 3145,14                           | —                                | 2845,07                           |
| 52 Te ..... | 3291,00                            | 3281,99                           | —          | 3069,97                         | 3040,04                            | 3001,33                           | —                                | 2706,47                           |
| 53 J .....  | 3150,87                            | 3141,66                           | —          | 2930,93                         | —                                  | —                                 | 2746,08                          | 2577,48                           |
| 55 Cs ..... | 2895,60                            | 2886,10                           | —          | 2677,84                         | 2660,53                            | 2622,93                           | —                                | 2342,52                           |
| 56 Ba ..... | 2779,02                            | 2769,64                           | —          | 2562,24                         | 2549,76                            | 2511,00                           | 2399,28                          | 2236,60                           |
| 57 La ..... | 2668,93                            | 2659,68                           | —          | 2453,30                         | 2444,26                            | 2405,31                           | —                                | 2137,20                           |
| 58 Ce ..... | 2565,11                            | 2556,00                           | —          | 2351,00                         | 2344,80                            | 2305,9                            | 2203,80                          | 2044,33                           |
| 59 Pr ..... | 2467,63                            | 2457,70                           | —          | 2253,90                         | —                                  | 2212,37                           | 2114,68                          | 1956,81                           |
| 60 Nd ..... | 2375,63                            | 2365,31                           | —          | 2162,21                         | —                                  | 2122,30                           | —                                | 1873,83                           |
| 62 Sa ..... | 2205,68                            | 2195,01                           | —          | 1993,57                         | —                                  | —                                 | —                                | 1723,09                           |
| 63 Eu ..... | 2127,33                            | 2116,33                           | —          | 1916,31                         | —                                  | —                                 | —                                | —                                 |
| 64 Gd ..... | 2052,62                            | 2041,93                           | —          | 1842,46                         | —                                  | —                                 | —                                | 1588,63                           |
| 65 Tb ..... | 1982,31                            | 1971,49                           | —          | 1772,68                         | —                                  | 1742,56                           | 1679,25                          | —                                 |
| 66 Ds ..... | 1915,64                            | 1904,60                           | —          | 1706,58                         | —                                  | —                                 | 1619,75                          | —                                 |
| 67 Ho ..... | 1852,06                            | 1840,98                           | —          | 1643,52                         | —                                  | 1616,77                           | 1563,65                          | —                                 |
| 68 Er ..... | 1791,40                            | 1780,40                           | —          | 1583,44                         | —                                  | —                                 | 1511,2                           | —                                 |
| 70 Ad ..... | 1678,9                             | 1667,79                           | —          | —                               | —                                  | —                                 | —                                | —                                 |
| 71 Cp ..... | 1626,36                            | 1615,51                           | —          | —                               | —                                  | —                                 | —                                | —                                 |
| 73 Ta ..... | 1529,33                            | 1518,24                           | —          | 1323,51                         | —                                  | —                                 | 1280,65                          | 1134,71                           |

niveau haben, also miteinander die *L*-Dublett-differenz  $L_2 - L_1$  bilden, kommen dabei untereinander zu stehen. In den Teilserien sind die Linien durchweg nach steigender Härte (bzw. zunehmender Höhe des Anfangsniveaus) geordnet, und Linienüberschneidungen können in ihnen nur ausnahmsweise ( $\beta_1$ !) vorkommen. Stellen, an denen eine Überschneidung von zwei Linien verschiedener Teilserien stattfindet und eine getrennte Ausmessung der betr. beiden Linien nicht möglich war, sind in den Tabellen (nach dem Vorgang von Coster) durch \* gekennzeichnet. Die betr. Wellenlängen stellen Mittelwerte dar und sind daher mit größeren Fehlern behaftet. — Die Funkenlinien  $\alpha_3$ ,  $\beta_2''$  ( $\beta_3$ ) und  $\gamma_{10}$  sind kurzweilige Begleiter der Linien  $\alpha$ ,  $\gamma$  und  $\delta$ . Ihrer

Härte nach sollten also  $\alpha_3$  und  $\beta_2''$  zwischen  $\alpha$  und  $\gamma$  bzw. zwischen  $\gamma$  und  $\beta_1'$  zu stehen kommen; doch läßt das Schema hier keinen Platz, und wir haben sie deshalb zwischen  $\epsilon$  und  $\alpha'$  bzw. zwischen  $\iota$  und  $\gamma'$  untergebracht. Die Linie  $\gamma_{10}$  wurde in die *L*<sub>2</sub>-Serie genau unter  $\beta_2''$  eingereiht, weil sie mit dieser Linie die *L*-Dublettdifferenz bildet<sup>3)</sup>. Bei 79 Au hat Dauvillier die  $\beta_2''$ -Linie in ein enges Dublett aufgespalten. Die Linie  $\alpha_3$  ist identisch mit der gleichbezeichneten Funkenlinie der Tabellen 6 und 7 (S. 378).

An zerstreuten Linien gibt Dauvillier die fol-

<sup>3)</sup> Bezüglich der Bedeutung dieser Tatsache (Superposition von relativistischer und Ionisierungsfeinstruktur, vgl. die Anm. 7) zitierte Arbeit des Verf., § 1 und Nachtrag.





| Element | $\lambda$ | $\beta_4$ | $\varphi'$ | $\beta_3$ | $\beta_9, (\beta_{10})$ | $\beta_8, (\beta_9)$ | $\chi'$ | $\chi$ | $\gamma_9$ | $\gamma_4$ | $\psi'$ | $\psi$ | $\gamma_1$ |
|---------|-----------|-----------|------------|-----------|-------------------------|----------------------|---------|--------|------------|------------|---------|--------|------------|
|         |           |           |            |           |                         |                      |         |        |            |            |         |        |            |
| 74 W    | 1417,7    | —         | —          | 1334,4    | 1279,17                 | —                    | 1129,2  | —      | 1095,53    | —          | —       | —      | 1072,0     |
| 76 Os   | —         | —         | —          | —         | 1278,8                  | —                    | 1128,8  | 1088,7 | 1095,5     | 1078,5     | —       | —      | 1072,0     |
| 77 Ir   | 1325,8    | —         | —          | —         | 1194,59                 | —                    | 1054,1  | —      | 1022,47    | —          | —       | —      | 999,1      |
| 78 Pt   | —         | —         | —          | —         | 1154,95                 | —                    | 985,5   | —      | 1022,5     | 1005,3     | —       | —      | * 963,6    |
| 79 Au   | 1283,6    | —         | —          | 1204,4    | 1154,9                  | —                    | 1019,7  | 982,2  | 988,41     | 971,4      | —       | —      | 963,7      |
| 81 Tl   | 1240,1    | —         | —          | —         | 1117,22                 | —                    | 985,5   | —      | 955,45     | —          | —       | —      | * 931,7    |
| 82 Pb   | —         | —         | —          | 1163,4    | 1117,2                  | —                    | 985,1   | 950,3  | 955,4      | 937,9      | —       | —      | * 931,6    |
| 83 Bi   | 1199,5    | —         | —          | —         | 1080,93                 | —                    | 954,2   | —      | 924,37     | 907,5      | —       | —      | * 901,25   |
| 90 Th   | —         | —         | —          | —         | 1080,9                  | —                    | 953,3   | —      | 924,4      | —          | —       | —      | 901,2      |
| 92 U    | 1125      | —         | —          | —         | 1012,66                 | —                    | 894,2   | —      | 865,29     | —          | —       | —      | 841,7      |
|         | 1090,2    | —         | —          | —         | * 979,90                | —                    | 863,9   | —      | 837,08     | —          | —       | —      | * 813,70   |
|         | 1057      | —         | —          | —         | 949,30                  | —                    | 837,8   | —      | 810,65     | —          | —       | —      | * 787,4    |
|         | —         | —         | —          | —         | * 762,59                | —                    | —       | —      | 651,03     | —          | —       | —      | 630,1      |
|         | 802,9     | —         | —          | —         | 718,07                  | —                    | —       | —      | 612,83     | —          | —       | —      | 592,6      |
|         | 802,8     | —         | —          | —         | 718,1                   | —                    | 634,4   | —      | 612,8      | * 603,8    | —       | —      | 593,3      |

|       |   |          |           |         |        |        |          |          |        |   |   |   |         |
|-------|---|----------|-----------|---------|--------|--------|----------|----------|--------|---|---|---|---------|
| 51 Sb | — | 3185,3   | 3146,3    | 3145,14 | 2980   | 2985,5 | 2694,6   | 2687,8   | —      | — | — | — | 2633,2  |
| 58 Ce | — | —        | —         | —       | —      | —      | 1980,7   | 1954,8   | —      | — | — | — | 1894,4  |
| 73 Ta | — | 2344,80  | 2305,9    | —       | —      | —      | 1102,0   | 1096,2   | —      | — | — | — | 1062,4  |
| 74 W  | — | 1342,2   | 1303,3    | —       | —      | —      | 1065,84  | 1059,65  | —      | — | — | — | 1026,47 |
| 76 Os | — | 1298,74  | 1260,0    | —       | —      | —      | 1065,6   | 1059,2   | 1043,9 | — | — | — | 1026,2  |
| 77 Ir | — | 1208,5   | 1259,8    | —       | 1210,5 | 1203,4 | —        | —        | —      | — | — | — | —       |
| 78 Pt | — | 1215,0   | 1177,2    | —       | —      | —      | 945,7    | 988,8    | 975,0  | — | — | — | 957,2   |
| 79 Au | — | 1176,4   | 1137,9    | —       | —      | —      | * 963,6  | 956,6    | —      | — | — | — | 924,5   |
| 81 Tl | — | * 1139,8 | 1138,4    | —       | 1094,7 | 1087,4 | 962,3    | 956,8    | 942,6  | — | — | — | 895,0   |
| 82 Pb | — | * 1140,0 | * 1099,50 | —       | 1059,3 | 1052,4 | * 931,7  | 925,6    | —      | — | — | — | 894,0   |
| 83 Bi | — | 1104,4   | —         | —       | 1059,3 | 1052,4 | * 931,6  | 925,8    | 912,0  | — | — | — | 866,3   |
| 90 Th | — | 1104,1   | 1065,2    | —       | 1025,4 | 1018,2 | * 901,25 | 895,68   | 883,0  | — | — | — | 865,8   |
| 92 U  | — | 1037,1   | 997,8     | —       | —      | —      | 902,5    | 896,1    | —      | — | — | — | 810,0   |
|       | — | 1004,69  | 966,02    | —       | —      | —      | 844,7    | 837,9    | —      | — | — | — | 783,6   |
|       | — | 975,4    | 935,7     | —       | —      | —      | 818,2    | * 813,70 | —      | — | — | — | 761     |
|       | — | 789      | 752,1     | —       | —      | —      | 792,9    | * 787,4  | —      | — | — | — | —       |
|       | — | 745,4    | 708,4     | —       | —      | —      | —        | —        | —      | — | — | — | —       |
|       | — | * 745,9  | 708,6     | —       | 635,3  | 679,7  | 604,4    | 597,0    | —      | — | — | — | 573,8   |
|       | — | —        | —         | —       | —      | —      | * 603,8  | 596,8    | —      | — | — | — | —       |





|       |           |         | $\varphi'$ | $\varphi$ | $\beta_9$ ( $\beta_{10}$ ) | $\beta_8$ ( $\beta_{11}$ ) | $\chi'$   | $\chi$    | $\gamma_9$ | $\psi'$  | $\psi$  |           |   |
|-------|-----------|---------|------------|-----------|----------------------------|----------------------------|-----------|-----------|------------|----------|---------|-----------|---|
|       |           |         |            |           |                            |                            |           |           |            |          |         |           |   |
| $I_2$ | 74 W { C  | 642,78  | —          | —         | 712,39                     | —                          | 807,03    | —         | 831,81     | —        | —       | 850,08    | — |
|       | 75 W { D  | —       | 682,9      | —         | 712,6                      | —                          | 807,3     | 837,0     | 831,8      | 844,5    | —       | 850,1     | — |
|       | 76 Os { C | —       | —          | —         | 762,83                     | —                          | —         | —         | 891,25     | —        | —       | —         | — |
|       | 76 Os { D | 687,3   | —          | —         | 762,8                      | —                          | —         | —         | 891,2      | 906,5    | —       | 912,1     | — |
|       | 77 Ir { C | —       | —          | —         | 788,99                     | —                          | —         | —         | 921,96     | —        | —       | * 945,67  | — |
|       | 77 Ir { D | 709,9   | 756,6      | —         | 789,0                      | —                          | 893,7     | 927,8     | 922,0      | 938,1    | —       | 945,6     | — |
|       | 78 Pt { C | 734,82  | —          | —         | 815,65                     | —                          | 924,71    | —         | 953,77     | —        | —       | * 978,07  | — |
|       | 78 Pt { D | —       | 783,3      | —         | 815,7                      | —                          | 925,1     | —         | 953,8      | 971,6    | —       | * 978,2   | — |
|       | 79 Au { C | 759,97  | —          | —         | 843,02                     | —                          | 955,01    | 953,9     | 985,83     | —        | —       | * 1011,12 | — |
|       | 79 Au { D | —       | —          | —         | 843,1                      | —                          | 955,9     | —         | 985,9      | 1004,2   | —       | 1011,2    | — |
|       | 81 Tl C   | 810,30  | —          | —         | 899,88                     | —                          | 1019,14   | —         | 1053,12    | —        | —       | 1082,69   | — |
|       | 82 Pb C   | 835,90  | —          | —         | * 929,98                   | —                          | 1054,83   | —         | 1088,37    | —        | —       | * 1119,97 | — |
| $I_3$ | 83 Bi C   | 862,32  | —          | —         | 959,93                     | —                          | 1087,75   | —         | 1124,10    | —        | —       | * 1157,55 | — |
|       | 90 Th C   | —       | —          | —         | * 1194,94                  | —                          | —         | —         | 1399,74    | —        | —       | 1446,20   | — |
|       | 92 U { C  | 1134,95 | —          | —         | 1269,08                    | —                          | —         | —         | 1456,98    | —        | —       | 1537,66   | — |
|       | 92 U { D  | 1135,1  | —          | —         | 1269,0                     | —                          | 1436,4    | —         | 1487,1     | * 1509,2 | —       | 1535,9    | — |
|       | 51 Sb { D | —       | 286,1      | 289,6     | 305                        | 305,2                      | —         | 339,0     | —          | —        | 346,1   | —         | — |
|       | 58 Ce { H | —       | —          | 289,73    | —                          | —                          | —         | 464,8     | —          | —        | —       | —         | — |
|       | 73 Ta C   | —       | 388,62     | 395,18    | —                          | —                          | 826,90    | 831,28    | —          | —        | —       | —         | — |
|       | 73 Ta { C | —       | 678,93     | 699,23    | —                          | —                          | 854,98    | 859,97    | —          | —        | 857,74  | —         | — |
|       | 74 W { C  | —       | 701,66     | 723,23    | —                          | 757,43                     | 855,2     | 860,3     | 872,9      | —        | 887,77  | —         | — |
|       | 74 W { D  | —       | 701,8      | 723,3     | 752,8                      | 757,2                      | —         | —         | —          | —        | 888,0   | —         | — |
|       | 76 Os { C | —       | 748,25     | 774,08    | —                          | —                          | —         | —         | —          | —        | —       | —         | — |
|       | 76 Os { D | —       | 749,5      | 774,0     | —                          | 810,9                      | —         | 921,6     | 934,6      | —        | 952,0   | —         | — |
| $I_3$ | 77 Ir { C | —       | 774,62     | 800,82    | —                          | —                          | * 945,67  | 952,64    | —          | —        | —       | —         | — |
|       | 77 Ir { D | —       | * 774,0    | 800,5     | 832,4                      | 838,0                      | 947,0     | 952,4     | —          | —        | 985,7   | —         | — |
|       | 78 Pt { C | —       | * 799,52   | * 828,80  | —                          | —                          | * 978,07  | 984,52    | 966,8      | —        | 1018,17 | —         | — |
|       | 78 Pt { D | —       | * 799,4    | * 828,7   | 860,3                      | 865,9                      | * 978,2   | 984,3     | 999,2      | —        | 1019,3  | —         | — |
|       | 79 Au { C | —       | 825,15     | —         | —                          | —                          | * 1011,12 | 1017,41   | —          | —        | 1051,86 | —         | — |
|       | 79 Au { D | —       | 825,3      | 855,5     | 888,7                      | 895,0                      | 1009,7    | 1016,9    | 1032,0     | —        | 1052,5  | —         | — |
|       | 81 Tl C   | —       | 878,64     | 913,23    | —                          | —                          | 1078,83   | 1087,54   | —          | —        | 1125,00 | —         | — |
|       | 82 Pb C   | —       | 907,01     | 943,30    | —                          | —                          | 1113,87   | * 1119,97 | —          | —        | 1162,89 | —         | — |
|       | 83 Bi C   | —       | 934,22     | 973,85    | —                          | —                          | 1149,20   | * 1157,55 | —          | —        | 1196,89 | —         | — |
|       | 90 Th C   | —       | 1155,00    | 1211,67   | —                          | —                          | —         | —         | —          | —        | —       | —         | — |
|       | 92 U { C  | —       | 1222,63    | 1286,29   | —                          | —                          | 1507,82   | 1526,41   | —          | —        | —       | —         | — |
|       | 92 U { D  | —       | * 1221,7   | 1286,0    | 1329,7                     | 1340,7                     | * 1509,2  | 1526,9    | —          | —        | 1588,1  | —         | — |

Tabelle 7.  
L-Serie, 29 Cu bis 73 Ta,  $\nu/R$ .

|             | $\alpha', \alpha_2$<br>$L_1 - M_2$ | $\alpha, \alpha_1$<br>$L_1 - M_1$ | $\alpha_3$ | $\beta, \beta_1$<br>$L_2 - M_2$ | $\varphi, \beta_4$<br>$L_3 - M_4$ | $\varphi, \beta_3$<br>$L_3 - M_3$ | $\gamma, \beta_2$<br>$L_1 - N_3$ | $\delta, \gamma_1$<br>$L_2 - N_4$ |
|-------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 29 Cu ..... | —                                  | 68,47                             | —          | —                               | —                                 | —                                 | —                                | —                                 |
| 30 Zn ..... | —                                  | 74,55                             | —          | 76,25                           | —                                 | —                                 | —                                | —                                 |
| 32 Ge ..... | —                                  | 87,50                             | —          | —                               | —                                 | —                                 | —                                | —                                 |
| 33 As ..... | —                                  | 94,42                             | 94,75      | 97,00                           | —                                 | —                                 | —                                | —                                 |
| 34 Se ..... | —                                  | 101,58                            | 101,94     | 104,53                          | —                                 | —                                 | —                                | —                                 |
| 35 Br ..... | —                                  | 109,04                            | 109,44     | 112,89                          | —                                 | —                                 | —                                | —                                 |
| 37 Rb ..... | —                                  | 124,78                            | 125,30     | 129,06                          | —                                 | —                                 | —                                | —                                 |
| 38 Sr ..... | —                                  | 133,07                            | 133,64     | 137,87                          | —                                 | —                                 | —                                | —                                 |
| 39 Y .....  | —                                  | 141,61                            | 142,24     | 147,01                          | —                                 | —                                 | —                                | —                                 |
| 40 Zr ..... | —                                  | 150,47                            | 151,19     | 156,50                          | —                                 | —                                 | —                                | —                                 |
| 41 Nb ..... | —                                  | 159,55                            | 160,19     | 166,29                          | —                                 | —                                 | 172,09                           | —                                 |
| 42 Mo ..... | —                                  | 168,93                            | 169,62     | 176,40                          | —                                 | —                                 | —                                | 193,42                            |
| 44 Ru ..... | 188,13                             | 188,44                            | —          | 197,62                          | —                                 | —                                 | —                                | 218,38                            |
| 45 Rh ..... | 198,29                             | 198,62                            | —          | 208,77                          | —                                 | —                                 | —                                | 231,53                            |
| 46 Pd ..... | 208,69                             | 209,07                            | —          | 220,25                          | —                                 | —                                 | —                                | 245,19                            |
| 47 Ag ..... | 219,37                             | 219,80                            | 220,55     | 232,06                          | 236,01                            | 238,27                            | 246,69                           | 259,15                            |
| 48 Cd ..... | 230,32                             | 230,82                            | —          | 244,29                          | 248,00                            | 250,59                            | —                                | 273,81                            |
| 49 In ..... | 241,55                             | 242,12                            | 243,00     | 256,84                          | —                                 | —                                 | —                                | 288,79                            |
| 50 Sn ..... | 253,05                             | 253,67                            | —          | 269,76                          | —                                 | 276,33                            | 287,56                           | 304,26                            |
| 51 Sb ..... | 264,84                             | 265,53                            | —          | 283,13                          | —                                 | 289,73                            | —                                | 320,29                            |
| 52 Te ..... | 276,89                             | 277,65                            | —          | 296,83                          | 299,75                            | 303,61                            | —                                | 336,69                            |
| 53 J .....  | 289,20                             | 290,05                            | —          | 310,91                          | —                                 | —                                 | 331,83                           | 353,54                            |
| 55 Cs ..... | 314,70                             | 315,74                            | —          | 340,29                          | 342,50                            | 347,41                            | —                                | 389,00                            |
| 56 Ba ..... | 327,90                             | 329,01                            | —          | 355,64                          | 357,38                            | 362,89                            | 379,80                           | 407,42                            |
| 57 La ..... | 341,43                             | 342,61                            | —          | 371,44                          | 372,81                            | 378,85                            | —                                | 426,37                            |
| 58 Ce ..... | 355,25                             | 356,51                            | —          | 387,60                          | 388,62                            | 395,18                            | 413,49                           | 445,74                            |
| 59 Pr ..... | 369,28                             | 370,77                            | —          | 404,30                          | —                                 | 411,89                            | 430,91                           | 465,68                            |
| 60 Nd ..... | 383,58                             | 385,25                            | —          | 421,44                          | —                                 | 429,37                            | —                                | 486,30                            |
| 62 Sa ..... | 413,14                             | 415,14                            | —          | 457,09                          | —                                 | —                                 | —                                | 528,86                            |
| 63 Eu ..... | 428,35                             | 430,58                            | —          | 475,52                          | —                                 | —                                 | —                                | —                                 |
| 64 Gd ..... | 443,94                             | 446,27                            | —          | 494,58                          | —                                 | —                                 | —                                | 573,60                            |
| 65 Tb ..... | 459,69                             | 462,21                            | —          | 514,05                          | —                                 | 522,93                            | 542,65                           | —                                 |
| 66 Ds ..... | 475,69                             | 478,44                            | —          | 533,96                          | —                                 | —                                 | 562,58                           | —                                 |
| 67 Ho ..... | 492,02                             | 494,98                            | —          | 554,45                          | —                                 | 563,62                            | 582,77                           | —                                 |
| 68 Er ..... | 508,68                             | 511,82                            | —          | 575,48                          | —                                 | —                                 | 602,99                           | —                                 |
| 70 Ad ..... | 542,76                             | 546,38                            | —          | —                               | —                                 | —                                 | —                                | —                                 |
| 71 Cp ..... | 560,30                             | 564,06                            | —          | —                               | —                                 | —                                 | —                                | —                                 |
| 73 Ta ..... | 595,85                             | 600,20                            | —          | 688,51                          | —                                 | —                                 | 711,55                           | 803,06                            |

genden an: bei 74 W:  $\lambda = 1218,0$ ,  $\nu/R = 748,2$ ; bei 79 Au:  $\lambda = 1041,2$ ,  $1036,0$ ,  $1031,6$ ,  $1029,6$ ,  $920,1$ ,  $899,0$ ,  $\nu/R = 875,2$ ,  $879,6$ ,  $883,4$ ,  $885,1$ ,  $990,4$ ,  $1013,6$ ; bei 92 U:  $\lambda = 568,9$ ,  $\nu/R = 1601,8$ . Die letztgenannte Linie ( $L\omega$ ) verdient besonderes Interesse, da sie als kurzwelligste L- ( $L_3$ -) Linie des Urans sogar die  $\psi$ -Linie an Härte übertrifft. Ihr Ausgangsniveau ist das oberste Niveau der P-Schale:  $P_1^0$ ). Die Au-Linien  $\lambda = 1036,0$  ( $Lq$ ) und  $899,0$  ( $Ls$ ), die miteinander die L-Dublett-differenz bilden, entsprechen anscheinend den Elektronenübergängen aus dem untersten P-Niveau  $P_3$  in die Niveaus  $L_1$  und  $L_2^0$ ).

3. M-Serie (Tab. 10, 11). Die hier mitzu-

<sup>9)</sup> Vgl. Dauvillier, l. c., und G. Wentzel, Zs. f. Phys. 8, 85, 1921.

teilenden Messungen stammen von W. Stenström (Diss. Lund 1919).

## II. Systematik.

### 1. Termdarstellung.

Nach der Kosselschen Theorie der Anregungs- und Emissionsvorgänge im Atominnern ist bekanntlich zu fordern, daß sich die Frequenz jeder Röntgenemissionslinie streng als Differenz der Frequenzen zweier Absorptionsgrenzen des betr. Elementes darstellen lasse:

$$\nu/R = G_1 - G_2.$$

Die Grenzfrequenzen  $G_1$  und  $G_2$  entsprechen vollkommen den Termen der optischen Spektren. Mit Rücksicht auf die elementare Vorstellung, daß jedem solchen Term eine bestimmte Gruppe



Tabelle 10.  
M - Serie,  $\lambda$ .

|             | $\alpha'$<br>$M_1-N_2$ | $\alpha$<br>$M_1-N_1$ | $\beta$<br>$M_2-N_2$ | $\gamma$<br>$M_3-N_3$ | $\delta$<br>$M_3-O_1$ | $\varepsilon$<br>$M_4-N_4$ |
|-------------|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| 66 Ds ..... | —                      | 9509                  | 9313                 | —                     | —                     | —                          |
| 67 Ho ..... | —                      | 9123                  | 8930                 | —                     | —                     | —                          |
| 68 Er ..... | —                      | 8770                  | 8561                 | —                     | —                     | —                          |
| 70 Ad ..... | —                      | 8123                  | 7895                 | —                     | —                     | —                          |
| 71 Cp ..... | —                      | 7818                  | 7587                 | —                     | —                     | —                          |
| 73 Ta ..... | —                      | 7237                  | 7011,5               | —                     | —                     | —                          |
| 74 W .....  | —                      | 6973                  | 6745                 | 6091                  | —                     | —                          |
| 76 Os ..... | —                      | 6477                  | 6250                 | —                     | —                     | —                          |
| 77 Ir ..... | —                      | 6245                  | 6029                 | —                     | —                     | —                          |
| 78 Pt ..... | —                      | 6028                  | 5812                 | 5311                  | —                     | —                          |
| 79 Au ..... | —                      | 5819                  | 5601                 | 5115                  | —                     | —                          |
| 81 Tl ..... | 5461                   | 5449,9                | 5238,4               | 4802                  | —                     | —                          |
| 82 Pb ..... | 5287                   | 5275,1                | 5064,8               | 4663,7                | —                     | —                          |
| 83 Bi ..... | 5119                   | 5107,2                | 4899,3               | 4523,8                | —                     | —                          |
| 90 Th ..... | 4143                   | 4129,15               | 3933,3               | 3656,5                | 3127                  | 3006                       |
| 92 U .....  | 3916                   | 3901,4                | 3708,3               | 3471,4                | 2943                  | 2813                       |

Tabelle 11.  
M - Serie,  $\nu/R$ .

|             | $\alpha'$<br>$M_1-N_2$ | $\alpha$<br>$M_1-N_1$ | $\beta$<br>$M_2-N_2$ | $\gamma$<br>$M_3-N_3$ | $\delta$<br>$M_3-O_1$ | $\varepsilon$<br>$M_4-N_4$ |
|-------------|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| 66 Ds ..... | —                      | 95,83                 | 97,85                | —                     | —                     | —                          |
| 67 Ho ..... | —                      | 99,88                 | 102,0                | —                     | —                     | —                          |
| 68 Er ..... | —                      | 103,9                 | 106,4                | —                     | —                     | —                          |
| 70 Ad ..... | —                      | 112,2                 | 115,4                | —                     | —                     | —                          |
| 71 Cp ..... | —                      | 116,6                 | 120,1                | —                     | —                     | —                          |
| 73 Ta ..... | —                      | 125,9                 | 130,0                | —                     | —                     | —                          |
| 74 W .....  | —                      | 130,7                 | 135,1                | 149,6                 | —                     | —                          |
| 76 Os ..... | —                      | 140,7                 | 145,8                | —                     | —                     | —                          |
| 77 Ir ..... | —                      | 145,9                 | 151,1                | —                     | —                     | —                          |
| 78 Pt ..... | —                      | 151,2                 | 156,8                | 171,6                 | —                     | —                          |
| 79 Au ..... | —                      | 156,6                 | 162,7                | 178,2                 | —                     | —                          |
| 81 Tl ..... | 166,9                  | 167,21                | 173,96               | 189,8                 | —                     | —                          |
| 82 Pb ..... | 172,4                  | 172,75                | 179,92               | 195,40                | —                     | —                          |
| 83 Bi ..... | 178,0                  | 178,43                | 186,00               | 201,44                | —                     | —                          |
| 90 Th ..... | 220,0                  | 220,70                | 231,68               | 249,22                | 291,4                 | 303,1                      |
| 92 U .....  | 232,7                  | 233,58                | 245,75               | 262,51                | 309,6                 | 323,9                      |

Tabelle 12.

| Anfangs-<br>niveaus: | Endniveaus          |   |   |                        |                   |          |           |          |          |
|----------------------|---------------------|---|---|------------------------|-------------------|----------|-----------|----------|----------|
|                      | K                   | $L_1$   | $L_2$   | $L_3$                  | $M_1$             | $M_2$    | $M_3$     | $M_4$    | $M_5$    |
| $L_1$ .....          | $K \alpha \alpha_1$ | —   | —   | —                      | —                 | —        | —         | —        | —        |
| $L_2$ .....          | $\alpha' \alpha_2$  | —   | —   | —                      | —                 | —        | —         | —        | —        |
| $L_3$ .....          | $(\alpha_3)$        | —   | —   | —                      | —                 | —        | —         | —        | —        |
| $M_1$ .....          | —                   | $L \alpha \alpha_1$   | —   | $(\beta_8 \beta_9)$    | —                 | —        | —         | —        | —        |
| $M_2$ .....          | —                   | $\alpha' \alpha_2$  | $\beta \beta_1$   | $(\beta_9 \beta_{10})$ | —                 | —        | —         | —        | —        |
| $M_3$ .....          | $\beta \beta_1$     | —   | $(\beta_{11})$  | $\varphi \beta_3$      | —                 | —        | —         | —        | —        |
| $M_4$ .....          | $\beta' \beta'$     | —   | —   | $\varphi' \beta_4$     | —                 | —        | —         | —        | —        |
| $M_5$ .....          | —                   | $\varepsilon l$   | $\eta \eta$   | —                      | —                 | —        | —         | —        | —        |
| $N_1$ .....          | —                   | $\left\{ \begin{array}{l} (\beta'_7) \\ \gamma \beta_2 \\ \gamma' \beta'_2 \\ \gamma \beta_2 \\ \gamma' \end{array} \right\}$ | $\left\{ \begin{array}{l} (\gamma_6) \\ \delta \gamma_1 \\ \chi \gamma_3 \\ \chi' \gamma_7 \gamma_2 \\ \iota \beta_6 \\ \xi \beta_5 \\ \xi' \end{array} \right\}$ | —                      | $M \alpha$        | —        | —         | —        | —        |
| $N_2$ .....          | —                   |   |   |                        | $\alpha'$         | $\beta$  | —         | —        | —        |
| $N_3$ .....          | —                   |   |   |                        | —                 | —        | —         | —        | —        |
| $N_4$ .....          | —                   |   |   |                        | —                 | —        | —         | —        | —        |
| $N_5$ .....          | $\gamma \beta_2$    |   |   |                        | —                 | —        | —         | —        | —        |
| $N_6$ .....          | $\gamma'$           |   |   |                        | —                 | —        | —         | —        | —        |
| $N_7$ .....          | —                   |   |   |                        | —                 | —        | —         | —        | —        |
| $O_1$ .....          | —                   | $\left\{ \begin{array}{l} \psi \gamma_4 \\ \psi' \end{array} \right\}$  | —   | —                      | —                 | —        | $\delta$  | —        | —        |
| $O_2$ .....          | —                   |   |   |                        | —                 | —        | $\delta'$ | $\times$ | —        |
| $O_3$ .....          | $\times$            |   |   |                        | —                 | —        | —         | —        | $\times$ |
| $O_4$ .....          | $\times$            |   |   |                        | —                 | —        | —         | —        | $\times$ |
| $O_5$ .....          | —                   |   |   |                        | $\lambda \beta_7$ | $\mu$    | —         | —        | $\times$ |
| $P_1$ .....          | $\times$            | $\left\{ \begin{array}{l} \omega \gamma_8 \\ \omega' \end{array} \right\}$  | —   | —                      | $\times$          | $\times$ | —         | —        | $\times$ |
| $P_2$ .....          | $\times$            |   |   |                        | —                 | $\times$ | —         | —        | $\times$ |
| $P_3$ .....          | —                   |   |   |                        | —                 | —        | $\times$  | $\times$ | —        |
|                      | K-Serie             | L-Serie   |   |                        | M-Serie           |          |           |          |          |

oder Schale von Elektronen entspricht, und daß der Emissionsprozeß in einem Elektronenübergang aus einer Schale in eine energetisch tiefere besteht, pflegt man  $G_1$  als Endniveau und  $G_2$  als Anfangsniveau der betr. Linie (des betr. Elektronenübergangs) zu bezeichnen<sup>10)</sup>.

<sup>10)</sup> In Wirklichkeit entspricht  $G_1$  dem Anfangs- und  $G_2$  dem Endzustand des Atoms; vgl. die in Anm. 7) zitierte Arbeit des Verf., S. 442 u. 452.

Die Aufgabe, allen bekannten Röntgenlinien eindeutig ihre Anfangs- und Endniveaus zuzuordnen, kann heute als gelöst gelten. Man braucht zu diesem Zwecke, soweit es sich um einfach ionisierte Atome handelt, 24 Terme, nämlich 1 K-Term, 3 L-Terme, 5 M-Terme, 7 N-Terme, 5 O-Terme und 3 P-Terme. Wie dann Linien und Terme einander zuzuordnen sind, zeigt Tab. 12; dieselbe ist vollkommen äquivalent mit der in

Tab. 4 bis 11 angegebenen Termdarstellung der einzelnen Linien. Die „Funkenlinien“ (vgl. S. 373 unten  $K\alpha'_1 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 \beta_3 \beta' \beta'' L_3 \alpha_3 \beta_2'' \gamma_{10}$ ) finden natürlich in Tab. 12 keinen Platz; sie sind Emissionen zwei- oder dreifach ionisierter Atome und stellen also Kombinationen ganz anderer Energierterme dar. Was ihre Deutung und Termdarstellung im einzelnen anlangt, muß auf die oben (Anm. 7) zitierte Arbeit des Verf., insbesondere § 4, verwiesen werden.

Desgleichen müssen wir darauf verzichten, auf die historische Entwicklung des Termproblems einzugehen; bezüglich der Fortschritte in jüngerer Zeit verweisen wir auf die Arbeiten von W. Duane und W. Stenström (Proc. Nat. Acad. 6, 477; 1920), W. Kossel (Zs. f. Phys. 1, 119; 1920), A. Sommerfeld (ebenda 1, 135; 1920), A. Smekal (ebenda 5, 91 u. 121; 1921), D. Coster (ebenda 5, 139; 1921; 6, 185; 1921), G. Wentzel (ebenda 6, 84, 1921; 8, 85, 1921), A. Sommerfeld und G. Wentzel (ebenda 7, 86; 1921), A. Dauvillier (C. R. 172 u. 173; 1921).

Die Angaben der Tabelle 12 sind durch eine große Reihe von Additionsbeziehungen gemäß dem Kombinationsprinzip verifiziert und sichergestellt; systematische Kombinationsdefekte, wie sie die früheren unvollständigen Niveauschemata

## 2. Quantenzahlschema, Termmultiplizitäten.

Besonders überzeugend für die Richtigkeit des so erhaltenen Niveau- und Linienschemas sind die in diesem herrschenden Gesetzmäßigkeiten. Wir diskutieren dieselben an Hand des Quantenzahlschemas Tab. 13. Hierbei beschränken wir uns aber ausdrücklich auf die schweren Elemente ( $Z > 78$ ). Bei leichteren Elementen sind zweifellos die äußeren Schalen unvollständig oder überhaupt nicht vorhanden; doch läßt sich empirisch noch nicht entscheiden, wie Tab. 13 dementsprechend abzuändern wäre.

Wir ordnen zunächst in Anlehnung an Bohr<sup>11)</sup> jeder der 6 Atomshalen je zwei Quantenzahlen zu: die „scheinbare Quantenzahl“  $s$  und die „Quantensumme“  $k$  (bei Bohr schlechthin „Quantenzahl“ genannt). Letztere nimmt von Schale zu Schale gleichmäßig um 1 zu; erstere stimmt mit ihr bis zur  $N$ -Schale einschließlich überein; nimmt dann aber in der  $O$ - und  $P$ -Schale wieder auf 3 und 2 ab.  $s$  bestimmt nach Bohr die Unterteilung der Schalen in energetisch verschiedenwertige Elektronengruppen; eine nicht-ionisierte Schale soll gerade  $s$ -fach unterteilt sein. Unser empirischer Befund sagt ferner aus, daß jeder Schale gerade  $2s - 1$  Energierterme entsprechen, d. h. daß die betr. Schale durch ein-

Tabelle 13.

|                                 | $K$ | $L$ -Schale               | $M$ -Schale                       | $N$ -Schale                               | $O$ -Schale                       | $P$ -Schale               |
|---------------------------------|-----|---------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------------|---------------------------|
| Scheinbare Quantenzahl..... $s$ | 1   | 2                         | 3                                 | 4   | 3                                 | 2                         |
| Quantensumme..... $k$           | 1   | 2                         | 3                                 | 4   | 5                                 | 6                         |
|                                 | $K$ | $\widetilde{L_1 L_2 L_3}$ | $\widetilde{M_1 M_2 M_3 M_4 M_5}$ | $\widetilde{N_1 N_2 N_3 N_4 N_5 N_6 N_7}$ | $\widetilde{O_1 O_2 O_3 O_4 O_5}$ | $\widetilde{P_1 P_2 P_3}$ |
| Grundquantenzahl..... $m$       | 1   | 2 2 1                     | 3 3 2 2 1                         | 4 4 3 3 2 2 1                             | 3 3 2 2 1                         | 2 2 1                     |
| Azimutale Quantenzahl..... $n$  | 1   | 2 1 1                     | 3 2 2 1 1                         | 4 3 3 2 2 1 1                             | 3 2 2 1 1                         | 2 1 1                     |

infolge unrichtiger Liniendeutung aufwiesen, sind nicht vorhanden. Überdies sind die Endniveaus  $G_1$  (d. h. die Energiewerte der Atome im angeregten Anfangszustand) für die intensiveren Linien durch direkte Anregungsversuche (Spannungsmessungen) ermittelt und in Übereinstimmung mit Tab. 12 gefunden worden; man vergleiche: D. L. Webster (Phys. Rev. 7, 599, 1916; Proc. Nat. Acad. 2, 90, 1916; 6, 26, 1920), F. C. Hoyt (ebenda 6, 639, 1920), P. A. Roß (Phys. Rev. 18, 336, 1921). Zweifel, ob die Anfangsniveaus gewisser Linien ( $\beta_7, \beta_7', \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_6, \gamma_7$ ) in die  $N$ - oder in die  $O$ -Schale zu verlegen seien, ließen sich u. a. durch Intensitätsbetrachtungen beseitigen; die zur  $O$ -Schale gehörenden Linien zeigen nämlich von 74 W über 76 Os, 77 Ir, 78 Pt zu 79 Au eine charakteristische Intensitätszunahme (vgl. G. Wentzel, Zs. f. Phys. 6, 84, 1921, S. 88; A. Dauvillier, C. R. 173, 647, 1458, 1921). Dies erklärt sich daraus, daß sich die  $O$ -Schale in der Umgebung der Platintriade aus einer Achter- in eine Achtzehnerschale umlagert.

fache Ionisation in  $2s - 1$  energetisch verschiedene Modifikationen übergehen kann.

Außerdem belegen wir jedes einzelne Niveau einer Schale mit zwei Quantenzahlen: der „Grundquantenzahl“  $m$  und der „Azimutalquantenzahl“  $n$ . Diese Zahlen sind so gewählt, daß bei den Niveaus mit ungeradem Index  $m = n$ , bei den Niveaus mit geradem Index  $m = n + 1$  ist; durchweg ist:  $1 \leq n \leq m \leq s$ .

## 3. Auswahlprinzip.

Das Quantenzahlschema Tab. 13 ermöglicht zunächst eine sehr einfache Formulierung des Auswahlprinzips, das in unserem Niveauschema gilt. Es lautet: Zwei Terme kombinieren dann und nur dann miteinander, wenn ihre Grundquantenzahlen  $m$  sich um  $\pm 1$  und zugleich ihre Azimutalquantenzahlen  $n$  sich um  $\pm 1$  oder 0 unterscheiden<sup>12)</sup>. Mit Hilfe der Tabellen 12

<sup>11)</sup> Nature-Briefe vom 24. März u. 16. Sept. 1921.

<sup>12)</sup> G. Wentzel, Zschr. f. Phys. 6, 84, 1921; S. 98. Vgl. auch D. Coster, Zschr. f. Phys. 6, 185, 1921; S. 199.



und 13 läßt sich diese Regel unmittelbar prüfen. Tatsächlich sind in der *L*-Serie alle Linien, die den genannten Bedingungen genügen, beobachtet. Die *K*- und die *M*-Serie sind leider der größeren experimentellen Schwierigkeiten wegen (große Härte der *K*-Linien schwerer Elemente, starke Verwaschenheit der *M*-Linien) noch nicht ausreichend untersucht; doch gehorchen auch hier die bereits bekannten Linien durchaus obiger Regel. Termkombinationen, die vom Auswahlprinzip gestattet, aber noch nicht beobachtet sind, sind in Tab. 12 durch das Zeichen  $\times$  angedeutet.

Die Gültigkeit des Auswahlgesetzes scheint allerdings insofern beschränkt zu sein, als es bei langer Expositionsdauer möglich war, auch einige verbotene Kombinationen als schwache Linien im Spektrum zu erhalten. In der Tat finden sich in Tab. 12 sieben solcher verbotenen Kombinationen vor; sie sind durch Einklammerung kenntlich gemacht. Vermutlich machen sich hier störende Einflüsse im Atomfeld geltend, z. B. elektrische Zusatzfelder, die bekanntlich auch die Auswahlregeln der optischen Spektren außer Kraft zu setzen vermögen.

#### 4. Dublettbeziehungen.

Es bleiben noch die quantitativen Gesetzmäßigkeiten zu erörtern. In Tab. 12 sind jeweils zwei aufeinanderfolgende Niveaus einer Schale durch Klammern verbunden. Diese Niveaupaaire sondern sich hinsichtlich der Abhängigkeit ihrer Energiedifferenzen von der Ordnungszahl *Z* in zwei charakteristisch verschiedene Gruppen; sie wurden vom Verf. als *reguläre* und *irreguläre Dubletts* unterschieden. Die Frequenzdifferenzen  $\Delta\nu$  der *regulären* Dubletts (obere

Klammern in Tab. 12) gehen im wesentlichen mit  $Z^4$ ; ihre Wellenlängendifferenzen  $\Delta\lambda = \Delta\nu/\nu^2$  sind demnach angenähert von *Z* unabhängig. Die Frequenzdifferenzen  $\Delta\nu$  der *irregulären* Dubletts (untere Klammern in Tab. 12) gehen im wesentlichen linear mit *Z*, ihre Wellenlängendifferenzen  $\Delta\lambda$  infolgedessen mit  $Z^{-3}$ ; ihre  $\Delta\sqrt{\nu}$ -Werte, d. h. die Differenzen der  $\sqrt{\nu}$ -Werte zweier Dublett-komponenten, sind mit großer Annäherung konstant. Das Gesetz der regulären Dubletts ist im Fall des *L*-Dubletts ( $L_1 L_2$ ) zuerst von *Sommerfeld*, dasjenige der irregulären Dubletts im Fall des *L*-Dubletts ( $L_2 L_3$ ) zuerst von *G. Hertz* ausgesprochen worden.

Es ist nun eine überaus charakteristische Eigenschaft des Niveauschemas, daß in ihm reguläre und irreguläre Dubletts regelmäßig miteinander abwechseln. An Hand des Quantenzahlschemas Tab. 13 kann man den Sachverhalt folgendermaßen beschreiben: Zwei Niveaus einer Schale (also gleicher Quantensumme *k* und scheinbarer Quantenzahl *s*) bilden ein *reguläres* Dublett, wenn sie gleiche Zahlen *m* und verschiedene Zahlen *n* haben; sie bilden dagegen ein *irreguläres* Dublett, wenn sie verschiedene Zahlen *m* und gleiche Zahlen *n* haben.

Zur Charakterisierung der beiden Dublettarten braucht man sich übrigens nicht mit den oben erwähnten Näherungsgesetzen (konstante  $\Delta\lambda$  und  $\Delta\sqrt{\nu}$ ) zu begnügen. Es hat sich gezeigt, daß sich *Sommerfelds* relativistische Termformel zur quantitativen Darstellung sämtlicher Dubletts, sowohl der regulären als der irregulären, vorzüglich eignet, wenn man über die in sie eingehenden Abschirmungszahlen in geeigneter Weise verfügt<sup>13)</sup>.

## Über die Wellenlänge der $\gamma$ -Strahlen.

Von Lise Meitner, Berlin-Dahlem.

Die Verknüpfung der radioaktiven Erscheinungen mit den Grundfragen der Chemie und Physik läßt sich sehr einfach erkennen, wenn man die Natur der drei bei radioaktiven Prozessen auftretenden Strahlenarten betrachtet. Die Erkenntnis, daß die  $\alpha$ -Strahlen Heliumatome sind, hat am entscheidendsten die Unzulänglichkeit des alten Elementenbegriffes dargetan und in weiterer konsequenter Entwicklung zur modernen Atomtheorie geführt. Die  $\beta$ -Strahlen haben durch ihre große Geschwindigkeit die Möglichkeit geboten, die von der Lorentz-Einsteinschen Theorie geforderte Abhängigkeit der Masse von der Geschwindigkeit zu prüfen und zu bestätigen. Die  $\gamma$ -Strahlen endlich, im Wesen identisch mit den Röntgenstrahlen, aber durchschnittlich von viel kleinerer Wellenlänge, werden vielleicht eines Tages ähnliche Bedeutung für die Aufklärung

der Kernkonstitution gewinnen, wie sie die Röntgenstrahlen heute für die Erforschung der Elektronenanordnung im Atom haben. Darum scheint es von besonderem Interesse, die für jede Wellenstrahlung charakteristische Konstante, nämlich die Wellenlänge, auch für die  $\gamma$ -Strahlen möglichst genau zu kennen. Wie weit heute die Möglichkeit einer solchen Wellenlängenbestimmung gegeben ist, soll im folgenden kurz ausgeführt werden.

Die Tatsache, daß die  $\gamma$ -Strahlen durch magnetische und elektrische Felder nicht beeinflusst werden und daß sie ein sehr hohes Durchdringungsvermögen besitzen, ist sehr bald nach ihrer Entdeckung erkannt und richtig dahin gedeutet worden, daß die  $\gamma$ -Strahlung elektro-

<sup>13)</sup> Vgl. A. Sommerfeld u. G. Wentzel, l. c.

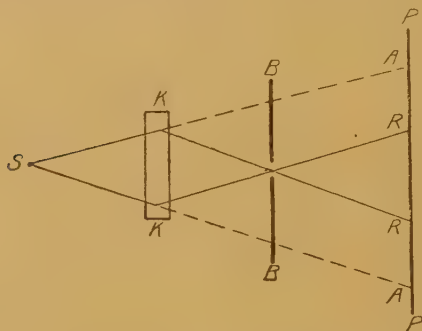
magnetische Schwingungen sind gleich den Licht- und Röntgenstrahlen, nur von erheblich höherer Frequenz, also kleinerer Wellenlänge. Aber eine direkte Bestätigung durch den Nachweis der Interferenzfähigkeit ist erst durch die weittragende Entdeckung *v. Laues*, die der modernen Atomphysik ihr wichtigstes experimentelles Hilfsmittel geschaffen hat, ermöglicht worden.

Zugleich bietet die *v. Lauesche* Kristallgittermethode einen Weg, die Wellenlängen von  $\gamma$ -Strahlen zu messen. Allerdings sind direkte Wellenlängenmessungen nur innerhalb eines beschränkten Bereiches durchführbar, da für die sehr kleinen Wellenlängen der durchdringenden  $\gamma$ -Strahlen sich die Raumgitterstruktur der Kristalle schon als zu grob erweist.

Wie weiter unten noch gezeigt werden soll, läßt sich aber eine Bestimmung der Wellenlängen der kurzwelligen  $\gamma$ -Strahlen dadurch erzielen, daß mittelbar die Ergebnisse der Röntgenspektroskopie benutzt werden.

Vorerst sei kurz eine direkte Wellenlängenmessung erwähnt, die vor mehreren Jahren von *E. Rutherford* und *C. Andrade* mit Hilfe einer etwas modifizierten Kristallgittermethode durchgeführt wurde. Gegenstand der Untersuchung waren die  $\gamma$ -Strahlen von  $\text{RaB} + \text{C}$ .

Das Prinzip der Methode ist folgendes:



Von einer punkt- oder linienförmigen Strahlenquelle (ein mit  $\text{RaB} + \text{C}$  aktivierter dünner Draht) *S* treffen Strahlen senkrecht auf eine Kristallplatte *K*, dringen in diese ein und werden an den inneren Atomebenen reflektiert. Die photographische Platte *P* wird daher außer der allgemeinen Schwärzung durch die hindurchgegangene Strahlung zwei Reflexionslinien *R* und zwei Absorptionslinien *A* erkennen lassen. Bringt man in die Ebene des Kreuzungspunktes der beiden reflektierten Strahlen eine Blende *B*, so wird diese die allgemeine Schwärzung und die Absorptionslinien abblenden und man erhält auf der Platte nur die Reflexionslinien zusammen mit der von den direkten Strahlen herrührenden Schwärzung in der Mitte.

*Rutherford* und *Andrade* haben nach dieser Methode im  $\gamma$ -Strahlenspektrum von  $\text{RaB} + \text{C}$  21 Linien festgestellt, die sich von rund  $1,4 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$  bis zu  $7,2 \cdot 10^{-10} \text{ cm}$  Wellenlängen erstrecken.

Die Zahl der wirklich vorhandenen Wellenlängen dürfte wahrscheinlich kleiner sein, da es den Anschein hat, daß einige Linien im Beugungsspektrum erster und zweiter Ordnung gemessen wurden. Wichtiger scheint mir aber der Hinweis, daß die gemessenen Linien größtenteils vermutlich gar nicht dem primären  $\gamma$ -Strahlenspektrum von  $\text{RaB} + \text{C}$  angehören, sondern sekundär erregte charakteristische Röntgenstrahlen sind.  $\text{RaB}$  ist nämlich ein Isotop des Bleies,  $\text{RaC}$  ein Isotop des Wismuts, und viele der von *Rutherford* und *Andrade* gemessenen Wellenlängen entsprechen in auffallender Weise den Linien der *K*-, *L*- und *M*-Serie der beiden Elemente. Die primären mit dem Zerfallsprozeß der Kerne unmittelbar verknüpften  $\gamma$ -Strahlen von  $\text{RaB}$  und  $\text{RaC}$  müssen noch viel kürzere Wellenlängen aufweisen, wie die Messung ihrer Absorptionskoeffizienten beweist. Darum versagt ihnen gegenüber das Kristallgitter als Beugungsgitter, die Abstände der Gitterebenen sind zu groß im Verhältnis zu den Wellenlängen, und diese Strahlen entziehen sich dadurch der Messung.

In der letzten Zeit haben nun die Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen andere Wege zur Bestimmung der Wellenlänge der  $\gamma$ -Strahlen gewiesen.

Wenn nämlich  $\gamma$ -Strahlen auf Materie auffallen, so werfen sie aus den Elektronenhüllen der Atome Elektronen heraus, deren Energie, vermehrt um ihre Ablösungsarbeit vom Atom, der ursprünglichen Energie des  $\gamma$ -Strahls entsprechen muß. Je nachdem, ob das Elektron aus dem *K*-, *L*-, *M*-Niveau stammt, ist als Ablösungsarbeit die Anregungsgrenze der *K*-, *L*-, *M*-Serien der entsprechenden Substanz einzusetzen, die aus röntgenspektroskopischen Messungen entnommen werden kann. Wird außerdem die Geschwindigkeit der herausgeworfenen Elektronen gemessen, so ist damit auch ihre Energie bekannt, und durch Summation dieser Energie und der Ablösungsarbeit läßt sich die Energie der  $\gamma$ -Strahlung und damit aus der Gleichung

$$E_{\gamma} = h \nu_{\gamma} = \frac{hc}{\lambda_{\gamma}}$$

wobei *h* die Plancksche Konstante, *c* die Lichtgeschwindigkeit  $\nu_{\gamma}$  und  $\lambda_{\gamma}$  bzw. die Frequenz und Wellenlänge des  $\gamma$ -Strahls bedeuten, die Größe  $\lambda_{\gamma}$  berechnen.

Nach dieser Methode hat beispielsweise *C. D. Ellis* die Wellenlängen der  $\gamma$ -Strahlen von  $\text{RaB}$  untersucht, indem er die  $\gamma$ -Strahlen auf verschiedene Substanzen auffallen ließ und die Geschwindigkeit der ausgelösten Elektronen aus ihrer Ablenkung im Magnetfeld maß. Er stellte drei Wellenlängen von  $5,19 \cdot 10^{-10} \text{ cm}$ ,  $4,23 \cdot 10^{-10} \text{ cm}$  und  $3,54 \cdot 10^{-10} \text{ cm}$  fest, wobei er die allerdings plausible Annahme machen mußte, daß die herausgeworfenen Elektronen aus dem *K*-Niveau der von den  $\gamma$ -Strahlen getroffenen Atome stammen.



Berücksichtigt man aber den tatsächlichen Zusammenhang zwischen den  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen bei radioaktiven Substanzen, so kann man das Energieniveau, aus dem die Elektronen ( $\beta$ -Strahlen) bestimmter Geschwindigkeit stammen, ohne jede Voraussetzung bestimmen und hat zugleich zwei voneinander unabhängige Wege, die Wellenlänge der  $\gamma$ -Strahlen zu errechnen. Neuere Untersuchungen haben nämlich gezeigt, daß der Zusammenhang zwischen  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen sich folgendermaßen darstellt:

Die aus dem zerfallenden Atomkern austretenden primären  $\beta$ -Strahlen besitzen (wenigstens in den einfachsten Fällen) eine einheitliche Geschwindigkeit und eine dieser Geschwindigkeit entsprechende Energie  $E_\beta$ . Entweder tritt der  $\beta$ -Strahl mit dieser Energie aus dem Atom aus und wird außerhalb des Atoms mit seiner vollen Geschwindigkeit gemessen, oder es entsteht im Kern aus dem  $\beta$ -Strahl ein  $\gamma$ -Strahl gleicher Energie, so daß die Beziehung gilt:

$$E_\beta = h \nu_\gamma = \frac{hc}{\lambda_\gamma}$$

Der so entstandene  $\gamma$ -Strahl wirft nun aus den  $K$ -,  $L$ -,  $M$ -Niveaus Elektronen heraus, und zwar wesentlich im selben Atom, in dem er entstanden ist, und da er nur sein ganzes Quant auf einmal abzugeben vermag, wird die Energie der sekundär in den Elektronenhüllen ausgelösten  $\beta$ -Strahlen gleich der Energie des  $\gamma$ -Strahls vermindert um die entsprechende Ablösungsarbeit sein, also beispielsweise  $h \nu_\gamma = E_\beta^K - E_K$ , wenn mit  $E_\beta^K$  die Energie des aus dem  $K$ -Niveau stammenden  $\beta$ -Strahls und mit  $E_K$  die Ablösungsarbeit des  $K$ -Niveaus bezeichnet wird.

Mißt man also die Energien bzw. Geschwindigkeiten der von einer radioaktiven Substanz ausgesendeten  $\beta$ -Strahl-Gruppen, so muß die größte Energie der primären Kern- $\beta$ -Strahlung angehören. Die weiteren  $\beta$ -Strahl-Gruppen kommen aus den Elektronenhüllen und können vielleicht zweckmäßig als Ring- $\beta$ -Strahlen bezeichnet werden. Die Energiedifferenz zweier aufeinander folgender Ring- $\beta$ -Strahl-Gruppen muß gleich sein der Energiedifferenz ihrer Ablösungsarbeiten, und daher läßt sich eindeutig bestimmen, aus welchen Energieniveaus diese Gruppen stammen.

Dadurch sind zwei unabhängige Berechnungsmethoden für die Wellenlänge der  $\gamma$ -Strahlen gegeben, nämlich einerseits muß:

$$\frac{hc}{\lambda_\gamma} = E_\beta$$

sein, außerdem aber auch:

$$\frac{hc}{\lambda_\gamma} = E_\beta^K - E_K = E_\beta^L - E_L$$

usw. Die Größen  $E_\beta$ ,  $E_\beta^K$ ,  $E_\beta^L$  werden durch Messung der Ablenkung der  $\beta$ -Strahlen im Magnetfeld gewonnen, die Größen  $E_K$ ,  $E_L$ , . . . ergeben sich aus den nach der Kristallgittermethode gemessenen Wellenlängen der Absorptionsgrenzen der  $K$ -,  $L$ - usw. Serien.

Unter Heranziehung der hier dargelegten Verhältnisse wurde die Wellenlänge der  $\gamma$ -Strahlen von ThB zu  $\lambda_\gamma = 5,2 \cdot 10^{-10}$  cm, vom Radium zu  $\lambda_\gamma = 6,6 \cdot 10^{-10}$  cm, von RaD zu  $2,9 \cdot 10^{-9}$  cm bestimmt. Die kürzeste nach dieser Methode bisher gemessene Wellenlänge ist die Wellenlänge der  $\gamma$ -Strahlen von ThC", die sich nach vorläufigen Versuchen zu  $\lambda_\gamma = 2,45 \cdot 10^{-10}$  cm ergibt.

Diese Wellenlänge ist rund 5mal kleiner als die kürzeste charakteristische Röntgenstrahlung, die wir kennen, nämlich die  $K$ -Strahlung des Urans. Doch sind dies durchaus nicht die kürzestwelligsten  $\gamma$ -Strahlen, die es gibt, denn sie entsprechen in ihrer Energie  $\beta$ -Strahlen von etwa 87 % Lichtgeschwindigkeit, und es sind  $\gamma$ -Strahlen beobachtet, die  $\beta$ -Strahlen von ca. 98 % Lichtgeschwindigkeit energiegelich sind. Daß aber die aus dem Kern stammende primäre  $\gamma$ -Strahlung unter Umständen auch langwelliger sein kann als die  $K$ -Strahlung des betreffenden Atoms, zeigt das Beispiel des RaD, bei welchem die Wellenlänge der  $\gamma$ -Strahlung, wie angegeben, zu  $2,9 \cdot 10^{-9}$  cm gefunden wurde, während die Grenzwellenlänge seiner  $K$ -Serie (RaD ist ein Bleiisotop)  $1,385 \cdot 10^{-9}$  cm beträgt. Natürlich kann infolgedessen die  $\gamma$ -Strahlung des RaD keine  $K$ -Elektronen herauswerfen, und tatsächlich entsprechen die beobachteten Ring- $\beta$ -Strahlen dem  $L$ - bzw.  $M$ -Niveau.

Es ist nach dem Vorstehenden auch ohne weiteres verständlich, daß Rutherford und Andrade bei ihrer Untersuchung der  $\gamma$ -Strahlen von RaB + C die für diese Elemente charakteristischen Röntgenstrahlen finden mußten. Die primäre dem Kern entstammende  $\gamma$ -Strahlung wirft  $K$ -,  $L$ -,  $M$ -Elektronen heraus, d. h. aber nichts anderes, als daß sie die  $K$ -,  $L$ -,  $M$ -Serie anregt.

Die spärlichen älteren Versuche, die bisher über die durch  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen in anderen Substanzen erregte charakteristische Strahlung vorliegen, sind unter nicht genügend eindeutigen Bedingungen ausgeführt worden, um bindende Schlüsse zu gestatten. So dürfte auch die in diesen älteren Arbeiten aufgestellte Behauptung, daß die charakteristische Strahlung wesentlich durch  $\beta$ - und nicht durch  $\gamma$ -Strahlen ausgelöst wird, irrtümlich sein.

Die Frage nach der Wirksamkeit der  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen bei der Auslösung der charakteristischen Strahlung hat in dieser allgemeinen Form eigentlich überhaupt keinen Sinn. Man muß vielmehr folgendes berücksichtigen. Der  $\gamma$ -Strahl besitzt seine Energie, um es kurz auszudrücken — in Form eines Quants und er kann nur das ganze Quant oder gar keine Energie abgeben. Der  $\beta$ -Strahl dagegen kann beliebig kleine Beträge seiner Energie übertragen. Treffen nun  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen gleicher Energie auf Atome auf und ist die Energie der Strahlen beträchtlich größer als die kleinste am Atom zu leistende Ab-

lösungsarbeit (Ionisierungsarbeit), was ja für  $\gamma$ -Strahlen stets zutrifft, so wird entsprechend der größeren Wahrscheinlichkeit, ein äußeres Elektron zu treffen, der  $\beta$ -Strahl wesentlich ionisierend wirken und die äußeren Elektronen, u. zw. meistens ohne ihnen mehr Energie als zur Ablösungsarbeit nötig ist, zu übertragen, herauswerfen. Denn der  $\beta$ -Strahl kann jeden beliebigen Energiebetrag abgeben und er gibt vorzugsweise die kleinsten möglichen Energiemengen her. Der  $\gamma$ -Strahl hingegen, der nur sein ganzes Quant übertragen kann, wird vorzugsweise diejenigen Elektronen, deren Ablösungsarbeit seiner Eigenenergie am nächsten liegt, herauswerfen und ihnen je nach der Größe der Ablösungsarbeit noch eine entsprechende Geschwindigkeit erteilen. Darum ionisiert der  $\gamma$ -Strahl nicht direkt, wie man zu sagen pflegt, sondern nur auf dem Umweg über sekundär erregte  $\beta$ -Strahlen. Diese können dann wieder in beliebig kleinen Energiestufen Energie abgeben, sie werden also nach den einfachen Wahrscheinlichkeitsgesetzen hauptsächlich die äußeren Elektronen herauswerfen, d. h. ionisieren. Daß die Wahrscheinlichkeit, ein fester gebundenes Elektron zu treffen, kleiner ist als für ein loser gebundenes, erklärt auch die Tatsache, daß  $\gamma$ -Strahlen viel weniger ionisieren als energiegleiche  $\beta$ -Strahlen.

Man kann diese Verhältnisse sehr gut an der

von *C. T. R. Wilson* ausgeführten Sichtbarmachung der Bahnen von  $\beta$ - und  $\gamma$ - (bzw. Röntgen-) Strahlen in Luft beobachten. Die Bahn der  $\beta$ -Teilchen markiert sich selbst bei so starker Vergrößerung, daß die einzelnen Ionen sichtbar sind, als eine mehr oder minder gekrümmte, durch die Aufeinanderfolge der gebildeten Ionen bestimmte, fast glatte Linie ohne seitliche Verzweigungen. Ein Auftreten sekundärer  $\beta$ -Strahlen, d. h. mit merklicher Geschwindigkeit herausgeworfener Elektronen, ist nirgends deutlich erkennbar. Daß gleichwohl vereinzelt eine solche sekundäre Ionisation vorhanden sein dürfte, zeigt die veränderliche Dichte der Ionisation längs der  $\beta$ -Strahl-Bahn, indem stellenweise Gruppen von Ionen auftreten.

Die Bahn der Röntgen- und  $\gamma$ -Strahlen hingegen ist durch keinerlei bevorzugten Linienzug von Ionen erkennbar, sondern nur dadurch, daß sie der Ausgangspunkt der erregten  $\beta$ -Strahlen sind, die nun ihrerseits erst Ionen erzeugen. Die Erklärung hierfür liegt, wie schon erwähnt, in dem Umstand, daß der  $\gamma$ -Strahl ebenso wie jeder andere elektromagnetische Wellenstrahl seine Energie in Quantenform besitzt und nur als einheitliches Ganze abgeben kann. Und gerade auf dieser Tatsache beruht eben die Berechtigung, die Wellenlänge des  $\gamma$ -Strahls aus der Energie der ausgelösten Elektronen und der zu ihrer Abtrennung nötigen Arbeit zu bestimmen.

## Laue-Interferenzen und Atombau<sup>1)</sup>.

Von *P. Debye*, Zürich.

In der Laueschen Theorie der Kristallinterferenzen wird der beobachtete Interferenzeffekt aufgebaut aus dem Zusammenwirken aller von den einzelnen Atomen des Kristalles ausgehenden Elementarwellen, welche einzeln durch die auftreffenden primären Röntgenstrahlen angeregt, mit dieser Primärstrahlung, sowohl nach Intensität wie nach Phase fest gekoppelt sind. Der Haupterfolg dieser Theorie liegt in der Erklärung der räumlich diskontinuierlichen Verteilung der Sekundärstrahlung, das Auffälligste des Laue-diagramms, auf Grund der Gitteranordnung der Atome in den Kristallen. So war es berechtigt, zunächst die Stärke und Phase der Elementarwellen in ihrer Abhängigkeit vom sekundär strahlenden Atom nur nebenbei zu berücksichtigen und sie rein phänomenologisch durch einen in seinen Eigenschaften nicht näher untersuchten Zerstreuungsfaktor zu messen, wie das in der Laueschen Theorie geschieht. Sobald indessen *W. H.* und *W. L. Bragg* die Interferenzen mit Hilfe ihrer, übrigens in der Laueschen Theorie impli-

cite enthaltenen, Reflexionsmethode genauer untersuchten, war es das erste Erfordernis, jenem Zerstreuungsfaktor erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken. Allen ihren schönen Resultaten über den Bau einzelner Kristalle und vor allem der zwar lange schon, insbesondere von *Groth* vorgeahnten, nun aber erst gesicherten Erkenntnis, daß nicht Moleküle, sondern Atome die erkennbaren, primären Bausteine der Kristalle bilden, liegt wesentlich eine Annahme über die Zerstreuungsfähigkeit der Atome zugrunde. Sie finden, daß die *Amplitude* der vom Atom zerstreuten Sekundärwelle *proportional dem Atomgewicht* gesetzt werden muß. Dieser zunächst rein empirisch gefundene Satz eröffnete die Aussicht, über das Atom und seine inneren Eigenschaften etwas zu erfahren und mußte zu einer Erklärung reizen auf Grund eines Bildes über die Konstitution der Atome.

Nun lagen zur Zeit, als der obige Befund von *W. H.* und *W. L. Bragg* publiziert wurde, die Verhältnisse durchaus nicht so, daß man sich bis dahin noch nicht eingehender mit der Zerstreuungsfähigkeit der Körper für Röntgenstrahlen beschäftigt hatte. Vielmehr existierten einer-

<sup>1)</sup> Eine chronologische Zusammenstellung der Literatur, welche ich Herrn *Fraunfelder* verdanke, findet sich am Schlusse.



seits Messungen von *Barkla* und andererseits eine Theorie der Erscheinung von *J. J. Thomson*.

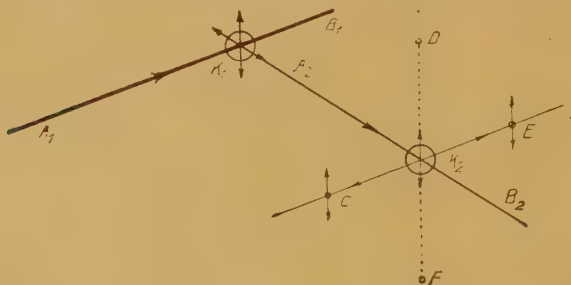
*Barkla* definiert einen „Zerstreuungskoeffizienten“ in derselben Weise, wie man Absorptionkoeffizienten einzuführen pflegt, indem er bei einem parallelen Röntgenstrahlenbündel das Verhältnis bildet der auf die Längeneinheit durch Zerstreuung verursachten Intensitätsänderung zur eingestrahnten Intensität. Für den so definierten Zerstreuungskoeffizienten findet er experimentell, daß er proportional ist der Dichte der untersuchten Substanz und sowohl unabhängig von ihrem Molekulargewicht wie auch unabhängig von der Härte (d. h. der Wellenlänge) der primären Röntgenstrahlen. Als Proportionalitätsfaktor findet sich in dem *Barklaschen* Gesetz etwa 0,2. Es ist ein leichtes, diesen Befund umzusetzen in eine Aussage über die von einem einzelnen Atom zerstreute Energie. Definiert man für das einzelne Atom den Zerstreuungskoeffizienten als Verhältnis der von ihm pro Zeiteinheit zerstreuten Energie zur Intensität der erregenden Primärwelle, so kann man, statt wie im *Barklaschen* Gesetz das Verhältnis *Barklascher* Zerstreuungskoeffizient zur Dichte zu bilden, dafür das Verhältnis Atomarer Zerstreuungskoeffizient zum Atomgewicht substituieren. Der experimentelle Befund bedeutet also, daß der atomare Zerstreuungskoeffizient und damit die *Intensität* der vom Atom zerstreuten Sekundärwelle dem Atomgewicht proportional zu setzen ist. So konstatieren wir nunmehr einen sehr merkwürdigen Widerspruch. Während *Bragg* dazu kommt, die sekundäre *Amplitude* dem Atomgewicht proportional zu setzen, schließt *Barkla* auf Proportionalität der sekundären *Intensität*, d. h. des *Quadrates* der *Amplitude* mit dem Atomgewicht. Dieser zunächst unbemerkt gebliebene Widerspruch erfährt nun durch die zur Zeit der *Braggschen* Untersuchungen ebenfalls lange schon vorhandenen theoretischen Überlegungen von *J. J. Thomson* eine erhebliche Verschärfung.

Als *H. Hertz* seine Versuche über die Wellenausbreitung elektrischer Schwingungen machte, zeigte er daneben theoretisch auf Grund der *Maxwellschen* Theorie, daß ein periodisch schwingendes, elektrisch geladenes Teilchen Energie durch Strahlung verliert in Form von Wellen, deren Wellenlänge der Frequenz des schwingenden Teilchens entspricht. Außerdem berechnete er, daß die pro Zeiteinheit gestrahlte Energie direkt proportional dem Quadrate der Amplitude des Teilchens und der vierten Potenz der Frequenz ist. *Thomson* denkt sich nun die Zerstreuung der Röntgenstrahlen dadurch entstanden, daß primär die Elektronen im Atom im Takte der auffallenden Welle in Bewegung gesetzt werden und sekundär Energie in den Raum hinaus zerstreuen im Sinne der *Hertzschen* Rechnung wie Antennen der drahtlosen Telegraphie. Unter gewöhnlichen Umständen wird man die Frequenz der Röntgenstrahlen

als groß betrachten können gegenüber den in der optischen Dispersionstheorie wesentlichen Eigenfrequenzen der Elektronen. Dem entspricht es, daß man auf die vom Atom ausgehenden an den Elektronen angreifenden Kräfte nicht zu achten braucht, so daß die einzige Verschiedenheit, welche die Atome verschiedener Elemente bei dem in Frage stehenden Effekt zeigen können, allein durch die Zahl der Elektronen bedingt wird. Nach dem Grundgesetz der Mechanik nimmt ein freies Elektron in einem periodischen Feld eine Amplitude an, welche umgekehrt proportional dem Quadrate der Frequenz ist. Nach dem *Hertzschen* Rechnungsergebnis muß also die Menge der Sekundärstrahlung unabhängig von der Härte der erregenden Primärstrahlung werden. Die eine Hälfte des *Barklaschen* Gesetzes ist also erklärt. Die andere Hälfte: die Proportionalität mit dem Atomgewicht wird im Sinne der *Thomsonschen* Theorie gewährleistet, wenn die einem Atom zukommende Elektronenzahl proportional dem Atomgewicht gesetzt wird. Setzt man in der Theorie für Ladung und Masse des Elektrons die aus sonstigen Messungen bekannten Werte ein, so ist auch der Proportionalitätsfaktor zu bestimmen, wenn man den *Barklaschen* Faktor 0,2 als gesichert ansieht. So findet man dann, daß die Elektronenzahl gleich dem halben Atomgewicht zu setzen ist. Bei Wasserstoff, bei dem diese Regel zu einem halben Elektron pro Atom führen würde, klärt sich alles auf das beste durch die Beobachtung, daß Wasserstoff sich für die Zerstreuung anomal verhält und etwa doppelt so stark zerstreut, als nach der *Barklaschen* Regel zu erwarten ist. Es darf wohl als bekannt vorausgesetzt werden, wie diese erste Schätzung der Elektronenzahl pro Atom bestätigt wurde durch die *Rutherfordische* Messung der Kernladung mit Hilfe der  $\alpha$ -Strahlen-Ablenkung, und wie schließlich diese Erfahrungen sich verdichteten zu der von den *Broekschen* Hypothese der Gleichheit von Elektronenzahl und Stellenzeiger im periodischen System der Elemente.

Aber damit nicht genug: auch die geometrischen Verhältnisse der Sekundärstrahlung werden durch die Theorie wiedergegeben. *Hertz* zeigt, daß ein schwingendes Teilchen maximal strahlt in einer Richtung senkrecht zu seiner Bewegung und überhaupt nicht strahlt in Richtung seiner Bewegung. Für eine beliebige Richtung ist die Amplitude des gestrahlten Feldes proportional der Projektion der Bewegungsamplitude auf eine Ebene senkrecht zur Beobachtungsrichtung. Läßt man nun, wie in der Figur angedeutet, primäre, unpolarisierte Röntgenstrahlung ( $A_1B_1$ ) durch einen Körper  $K_1$  von niedrigem Atomgewicht zerstreuen, so wird unter  $90^\circ$  gegen den Primärstrahl nur eine linear polarisierte Röntgenstrahlung ( $A_2B_2$ ) ausgesandt werden können. Läßt man diese Sekundärstrahlung an einem zweiten Körperchen  $K_2$  Tertiärstrahlung ( $K_2C$ ,  $K_2D$ ,  $K_2E$  oder  $K_2F$ ) erzeugen, so wird man unter

90° gegen den Sekundärstrahl  $A_2B_2$  dort maximale Zerstreuung finden, wo die Tertiärstrahlrichtung senkrecht steht zur elektrischen Feldstärke im Primärstrahl, d. h. in den Richtungen  $K_2C$  und  $K_2E$ . In zwei um 180° auseinander liegenden Richtungen aber, welche immer noch senkrecht zum Sekundärstrahl stehen sollen und die überdies mit der Richtung der Feldstärke im Sekundärstrahl zusammenfallen (in der Figur  $K_2D$  und  $K_2F$ ), wird man überhaupt keine Streu-



Polarisation der sekundären und tertiären Röntgenstrahlung.

strahlung finden. Das Experiment wurde von *Barkla* ausgeführt und später von anderen in verschiedenen Modifikationen wiederholt. Das Resultat entspricht der Voraussage.

Angesichts des weiten Gebietes, das durch die Thomsonsche Theorie gedeckt wird, muß es um so merkwürdiger erscheinen, daß der hervorgehobene, in jener Theorie nicht vorgesehene Widerspruch zwischen den Resultaten von *Barkla* und *Bragg* existieren kann. Es drängt sich der Gedanke auf, daß an den Grundlagen der Thomsonschen Theorie nicht zu rütteln ist, daß aber vielleicht ein Schritt des auf diesen Grundlagen aufgebauten Gedankenganges, welcher starr das Barklasche Gesetz liefert, unberechtigt sein könnte. Hand in Hand mit einer Festlegung des Gültigkeitsbereiches für die beiden experimentellen Gesetze, die ja unmöglich unter den gleichen Bedingungen zugleich gültig sein können, wäre dann vielleicht ein restloses Verständnis aller Erscheinungen möglich. Tatsächlich läßt sich nun eine Stelle in den obigen Überlegungen aufzeigen, wo eine unberechtigt grobe Zusammenfassung das Endresultat fälscht.

Die gesamte von einem Atom zerstreute Strahlung wird bei *Thomson* so gerechnet, daß die von einem Elektron zerstreute Energie einfach mit der Zahl der Elektronen im Atom multipliziert wird. In Wirklichkeit ist aber zu erwarten, daß die von den einzelnen Elektronen eines Atoms ausgehenden Wellen in Phasenbeziehungen zueinander stehen und deshalb miteinander interferieren. Was aber in diesem Falle die Gesamtintensität wird, das hängt von den Phasenbeziehungen wesentlich ab und wird jedenfalls durch die Thomsonsche Rechnung nicht gedeckt. Ob allerdings diese Interferenzen praktisch eine Rolle spielen können, hängt noch wesentlich davon ab, ob die gegenseitigen Abstände der Elektronen im

Atom von derselben Größenordnung sind wie die Wellenlänge der Röntgenstrahlung. Das ist aber tatsächlich der Fall, sowohl die gaskinetischen „Durchmesser“ der Moleküle, wie die Wellenlänge der Röntgenstrahlen sind von der Größenordnung  $10^{-8}$  cm.

In den Hauptzügen stellt sich nunmehr das Bild der von einem Atom gestreuten Strahlung folgendermaßen dar.

Betrachtet man zunächst die Streustrahlung in Richtungen, welche nur ganz kleine Winkel mit der Primärstrahlung machen, so überlegt man, daß für diese Richtungen die gegenseitigen Abstände der Elektronen überhaupt keine Rolle spielen. Zwei Elektronen nämlich, welche um ein endliches Stück in Richtung des Primärstrahles auseinander liegen mögen, werden mit einer diesem Stück proportionalen Phasendifferenz durch die primäre Welle angeregt. Die von ihnen ausgehende Sekundärstrahlung hat aber, um den Beobachtungspunkt zu erreichen, vom erstgetroffenen Elektron aus einen längeren Weg zurückzulegen wie vom zweiten Elektron aus. Fällt nun die Richtung nach dem Beobachtungspunkt nahe zusammen mit der Richtung des Primärstrahles, so bedingt diese Wegdifferenz eine Phasendifferenz, welche die Anregungs-Phasendifferenz nahezu aufhebt. Es kommen also alle Streustrahlungsfelder der einzelnen Elektronen im Beobachtungspunkt mit verschwindender Phasendifferenz an und dementsprechend addieren sich ihre Amplituden. Das bedeutet aber, daß für diese Richtung das Braggsche Gesetz der Proportionalität von Amplitude und Elektronenzahl auf alle Fälle Gültigkeit hat.

Anders wird das für Richtungen, die gegen den Primärstrahl wesentlich geneigt sind. In diesem Falle sind Phasendifferenzen da, welche um so mehr ins Gewicht fallen, je größer der Winkel ist, und im übrigen eine Intensitätsverteilung bewirken, welche wesentlich von der gegenseitigen Anordnung der Elektronen im Atom und von der Orientierung des Atoms gegen den Primärstrahl abhängen. Bildet man einen Mittelwert über alle möglichen Orientierungen des Atoms, so ist keine Rede davon, daß der in Frage stehende Interferenzeffekt verschwindet. Nach wie vor bleibt die Amplitude in Richtung des Primärstrahls proportional der Elektronenzahl, d. h. die Intensität der Streustrahlung proportional dem Quadrate der Elektronenzahl. Mit zunehmendem Winkel aber nimmt die Intensität ab und erreicht bei genügend kleiner Wellenlänge der Primärstrahlung Proportionalität mit der einfachen Elektronenzahl, d. h. es kommt nunmehr das Barklasche Gesetz zur Geltung. Der Winkel, bei dem der Übergang vom Braggschen in das Barklasche Gesetz stattfindet, ist bei gegebenem Atom abhängig von der Wellenlänge der Primärstrahlung und ist um so größer, je länger die Wellenlänge ist. Im übrigen geht die Abnahme



der Intensität mit zunehmendem Winkel im allgemeinen über einige abgeflachte Maxima und Minima, ein trotz der Mittelung übrigbleibender Rest der beim festgehaltenen Atom zustande kommenden Interferenzen.

Vergleicht man die experimentellen Bedingungen miteinander unter denen *Barkla* und *Bragg* zu ihren Gesetzen geführt wurden, so erkennt man, daß das gegenteilige Resultat sehr gut durch den eben auseinandergesetzten inneratomaren Interferenzeffekt begründet werden kann, somit die beiden Gesetze nur verschiedene Seiten derselben Erscheinung sind.

Die so gewonnene Erkenntnis führt gleich zu einer neuen experimentellen Fragestellung. Wäre das *Barklasche* Gesetz durchaus richtig gewesen, so hätte jedes Experiment über die Streufähigkeit eines Atoms nichts anderes liefern können, wie eine Zählung der im Atom vorhandenen Elektronenzahl. Jetzt aber, wo wesentliche Abweichungen von jenem Gesetze zu konstatieren sind und unserer Ansicht nach auf inneratomare Interferenzen zurückgeführt werden können, hat die Messung der Streufähigkeit als Funktion des Winkels eine erhöhte Bedeutung bekommen. Denn nunmehr sind wir imstande, aus solchen Messungen Rückschlüsse zu machen nicht nur auf die Elektronenzahl, sondern auch auf die Elektronenabstände im Atom im selben Sinne, wenn auch auf weniger einfachere Weise, wie das *Laue*-Diagramm unmittelbar Aufschlüsse gibt über die Abstände der Atome im Gitter.

Das einfachste wäre es, wenn es experimentell möglich wäre, die Atomzerstreuung rein, ohne andere überlagerte Interferenzeffekte zu erzeugen. Da aber schon in flüssiger Form solche Effekte auftreten und in fester Form wohl alle Körper kristallinisch (resp. mikrokristallinisch) sind<sup>2)</sup>, so ist die Beobachtung des reinen Effektes nur bei Gasen zu erwarten, und da ist die Intensität zu gering für aussichtsreiche Versuche. Bei dieser Sachlage ist es am besten, das *Laue*-Diagramm selber, sei es in seiner ursprünglichen Form, sei es in späteren dem Zwecke besser angepaßten Abarten zur Beobachtung der Streufähigkeit zu verwenden, indem man es einer verfeinerten Analyse unterwirft, in diesem Falle mit der Absicht, die Kristallinterferenzen selber als nebensächlich zu eliminieren. Tatsächlich sind die Versuche bis jetzt auch in dieser Weise angestellt worden. Die Methode läßt sich im Prinzip am besten erläutern an Hand der Diskussion eines anderen Effektes, nämlich des Einflusses der Temperaturbewegung auf die *Laue*-Interferenzen. Dieser Effekt hat zwar an sich nichts mit den inneratomaren Interferenzen zu tun; er führt aber in seiner Wirkung zu einem ähnlichen Resultat, und es läßt sich leicht verstehen, daß diese Ähnlichkeit bestehen muß.

<sup>2)</sup> Die wenigen Ausnahmen von dieser Regel betrachtet man wohl am besten nicht als eigentliche Ausnahmen, sondern als unterkühlte Flüssigkeiten.

Die einfache Theorie der *Laue*-Interferenzen sieht die Atome des Kristalls in den Eckpunkten von kongruenten Raumgittern und berechnet auf Grund dieser exakten räumlichen Ordnung der strahlenden Zentren diskrete Vorzugsrichtungen, in denen die Streustrahlung sich durch Interferenz so ausgiebig verstärkt, daß nur diese für die Beobachtung in Betracht kommen. Tatsächlich sind aber die Atome in dauernder der Temperatur angepaßten Bewegung und man mußte fragen, warum auch ein wackelndes Raumgitter noch imstande ist, die beobachteten scharfen Interferenzen zu erzeugen. Sieht man die Bewegungen der einzelnen Atome als voneinander unabhängig an, so daß zwischen benachbarten Teilchen keine Phasenbeziehungen ihrer Wärmebewegung in Betracht gezogen werden müssen, so führt die Überlegung zu dem überraschenden Resultat, daß die Bewegung der Atome auf die Schärfe der Interferenzen keinerlei Einfluß hat. Wohl aber wird die Intensität derselben wesentlich herabgesetzt, natürlich um so stärker, je größer die Amplitude der Atome ist. Außerdem aber ist der Wärmeeinfluß insbesondere noch abhängig von dem Winkel zwischen Beobachtungsrichtung und Primärstrahlrichtung. Je größer dieser Winkel, um so intensiver der Wärmeeinfluß; in Richtung des Primärstrahles selber, also für verschwindenden Winkel, ist ein Einfluß überhaupt nicht vorhanden. Diese Tatsache erinnert sofort an die entsprechende Feststellung über die Winkelabhängigkeit bei der Diskussion über den Übergang vom *Braggschen* in das *Barklasche* Gesetz und hat wirklich genau denselben dort näher erläuterten Grund. Die Existenz des Wärmeeffektes wurde auch experimentell von *W. H. Bragg* sowie von *M. v. Laue* nachgewiesen. Sowohl theoretisch wie experimentell ist also sichergestellt, daß, sofern in einem Kristall die Atome als punktförmige Strahlungszentren angesehen werden, die Bewegungen dieser Zentren sich bemerkbar machen in den Intensitäten der Interferenzen und aus dem Intensitätsverlauf ihrer Größe nach bestimmt werden können.

Nun hat aber die Diskussion über das *Barkla*-*Braggsche* Zerstreuungsgesetz gezeigt, daß die Streufähigkeit eines Atoms auf der Anwesenheit von Elektronen in demselben beruht. Die Zentren, von denen die Sekundärstrahlung ausgeht, sind also keineswegs punktförmig wirkende Atome. Jedes Atom stellt vielmehr einen Bereich dar mit Abmessungen, welche vergleichbar sind mit der Wellenlänge der Primärstrahlung, indem die wirklichen Zentren, die Elektronen, ihre planetarischen, von der Temperatur im wesentlichen unabhängigen Bewegungen ausführen, um so das, was wir das chemische Atom nennen, zu konstituieren. Es liegt auf der Hand, daß auch diese Bewegung ebensowenig wie die Wärmebewegung einflußlos bleiben kann auf die Intensitäten der *Laue*-Interferenzen. So eröffnet

sich die Perspektive, mit einem nach Röntgenwellenlängen eingeteilten Maßstabe messend einzugreifen in das Atominnere.

Als es sich nun darum handelte, experimentell solche Messungen auszuführen, mußten erst einige Vorfragen über denkbare Elektronenverschiebungen und -bindungen im Kristall erledigt werden. Außerdem muß, bevor die Elektronenabstände gemessen werden können, erst die Zahl der einem Atom zukommenden Elektronen bekannt sein.

Schließen wir uns der Ansicht an, daß alle molekularen Kräfte letzten Endes elektrische sind (und dieser Standpunkt läßt sich heutzutage mit sehr starken Mitteln verteidigen), so wird man zu erwarten haben, daß bei der Bindung von Atomen zu Kristallen eine teilweise Abspaltung von Elektronen vor sich gehen kann, welche nach Verlassen des Atomverbandes Bindeglieder im Kristallverband abgeben. Als vollständig beendeter Vorgang in diesem Sinne kann es angesehen werden, wenn die einzelnen Atome im Kristall zu Ionen geworden sind. Daß bei einer großen Klasse von Körpern vom Typus NaCl das Kristallgitter wirklich ein Ionengitter ist, war zu erwarten auf Grund der Tatsache, daß alle diese Körper eine ultrarote Eigenfrequenz besitzen und man mit ihnen nach Rubens Reststrahlen erzeugen kann. Daß die Coulombschen Kräfte zwischen den Ionen die Hauptkräfte sind, welche solche heteropolar gebaute Kristalle zusammenhalten, geht unzweideutig aus den Bornschen Rechnungen über die elastischen Eigenschaften jener Körper hervor. Schließlich lieferte die Untersuchung der Intensitäten der Linien in einem mit der Pulvermethode erhaltenen Diagramm eine Messung der relativen Streufähigkeit und damit ein direktes Maß für das Verhältnis der Elektronenzahlen. Dieses Verhältnis aber entsprach in dem experimentell untersuchten Falle des LiF und in der Grenze für sehr kleine Streuwinkel den Ionen entsprechende Elektronenzahlen. Wie zuverlässig die bei all diesen Überlegungen zugrunde liegende Vorstellung ist, konnte neuerdings W. L. Bragg noch zeigen, indem er die absolute Intensität der gestreuten Strahlung maß und in zahlenmäßiger Übereinstimmung fand mit der von Darwin für den Fall der Streuung durch Kristalle in Einzelheiten ausgearbeiteten Theorie. Neben Kristallen vom Typus NaCl gibt es aber eine große Reihe von anderen, z. B. die kristallisierten Elemente, bei denen es nicht von vornherein wahrscheinlich ist, daß sie Ionengitter bilden. Wohl existiert eine Hypothese von Haber, wonach die metallischen Elemente gebaut sein sollen wie NaCl, nur mit dem Unterschiede, daß die Rolle des negativen Ions hier vom Elektron übernommen wird. Als aber Li-Metall durchstrahlt wurde, konnte von solchen Bindungselektronen auf dem Diagramm keine Spur entdeckt werden, trotzdem die Bedin-

gungen in diesem Falle äußerst günstig liegen, da ja das neutrale Li-Atom nur 3 Elektronen besitzt und demnach das Bindungselektron neben dem Li-Ion mit nur 2 Elektronen leicht bemerkbar sein sollte.

Schließlich hatte man noch z. B. im Falle des Diamants daran gedacht, daß jedes C-Atom ein Elektron verloren haben könnte und je zwei Elektronen, die Verbindungslinie von Atom zu Atom in einem Ringe umkreisend, das Kopplungsglied in diesem homöopolaren Falle abgeben konnten. Aber eine eingehende Diskussion des mit der Pulvermethode aufgenommenen Diagramms zeigte auch von diesen Bindungsringen nichts. Der von Coster versuchte an sich interessante Ausweg, daß der Radius des Bindungsringes im Diamant zufälligerweise der Wellenlänge der Primärstrahlung (Cu-Strahlung) so angepaßt gewesen sei, daß die Wirkung jenes Ringes infolge Interferenzen praktisch unmerkbar war, muß abgelehnt werden. Auch andere Wellenlängen (Fe-Strahlung) brachten die supponierten Bindungsringe nicht zum Vorschein. Man wird also damit zu rechnen haben, daß speziell im Falle des Diamants, der uns im Folgenden noch weiter beschäftigen muß, jedes C-Atom die normale Elektronenzahl 6 behalten hat.

Gehen wir jetzt über zu einer Besprechung der neueren Versuche, welche die Messung der Elektronenabstände im Atom zum Ziele haben, so seien zunächst einige Tatsachen erwähnt, aus welchen die Ausführungsmöglichkeit jener Versuche hervorgeht.

Als oben darauf hingewiesen wurde, daß man aus Intensitätsmessungen etwa an den Linien eines mit Hilfe der Pulvermethode erzeugten Diagramms die relativen Elektronenzahlen der Atome im Gitter erschließen konnte, wurde hinzugefügt, daß jene Intensitäten in der Grenze für kleine Streuwinkel, etwa im Falle des LiF die Atome als Ionen erkennen ließen. Tatsächlich ist die Reduktion auf kleine Streuwinkel von besonderer Wichtigkeit; bei beliebig großem Winkel zwischen Beobachtungsrichtung und Primärstrahlrichtung ergibt sich aus den gemessenen Intensitäten im allgemeinen ein Amplitudenverhältnis der Streustrahlung, das keineswegs vom Winkel unabhängig ist und deshalb auch nicht mit dem Verhältnis der Elektronenzahlen übereinstimmt. Gerade das aber steht zu erwarten, wenn die Annahme zutrifft, daß die Streufähigkeit eines Atoms nicht nur von seiner Elektronenzahl, sondern außerdem noch infolge innerer Interferenzen von den Elektronenabständen abhängig ist. Sehr schön läßt sich diese Tatsache durch einen qualitativen Versuch nachweisen. Nimmt man als Kristall NaF oder KCl, so stehen die Atome F und Na, resp. Cl und K im periodischen System unmittelbar vor und hinter einem Edelgas. Im Kosselschen Sinne entspricht der Übergang zu den Ionen  $\text{Na}^+$  und  $\text{F}^-$ , resp.  $\text{K}^+$



und  $\text{Cl}^-$ , so wie dieser im Kristall Tatsache ist, dem Übergang zum zwischenstehenden Edelgas-typus; bei welchem die beiden miteinander in Wechselwirkung stehenden Atome durch Aufnahme resp. Abgabe eines Elektrons zu Ionen mit gleichen Elektronenzahlen geworden sind. Wäre nun die Streufähigkeit eines Ions nur von seiner Elektronenzahl abhängig, so würden diejenigen Linien des Diagramms verschwinden, in denen die von den Na-Ebenen kommende Strahlung sich mit der von den F-Ebenen kommenden in entgegengesetzter Phase zusammensetzt. Tatsächlich sind diese Linien bei einer gut exponierten Aufnahme aber, wenn auch schwach, vorhanden und werden relativ zu den anderen stärker mit zunehmendem Winkel zwischen Beobachtungs- und Primärstrahlrichtung. Zwei Atomgebilde mit gleichen Elektronenzahlen zeigen also nicht die gleiche Streuwirkung. Immerhin ist aber bei diesen Versuchen noch ein Einwand möglich. Wir gingen davon aus, daß die in den Interferenzlinien auftretende Intensität abhängig ist von der Bewegungsamplitude der zerstreuen- den Atome. Man könnte also daran denken, die Ungleichheit der Streuwirkung verschiedener Ionen mit gleichen Elektronenzahlen auf ihre durch die Massenunterschiede bedingte verschiedene Bewegungsamplitude zurückzuführen. Eine Abschätzung des aus diesem Grunde zu erwartenden Effektes zeigt zwar die Unzulänglichkeit dieser Vermutung, es ist aber, weil eine Abschätzung herangezogen werden muß, doch wünschenswert, die Wirkung der Atomdimensionen nachzuweisen in einem Falle, für den der Wärmeeinfluß genau genug bekannt ist.

Als Körper, welcher dieser Bedingung genügt, wurde der Diamant gewählt, der auch in anderer Hinsicht Vorteile bietet. Zunächst ist dessen spezifische Wärme und ihr Temperaturverlauf mit genügender Genauigkeit gemessen. Ein Rückschluß auf die mittlere Frequenz der Atom-schwingungen und daran anschließend auf ihre Amplitude ist ohne weiteres möglich. Dann aber ist Diamant ein Körper, welcher schon bei gewöhnlicher Temperatur starke Unterschreitungen des Dulong-Petitschen Wertes für die Atom-wärme ergibt und dadurch kundtut, daß die Bewegungsenergie seiner Atome abnorm klein ist und somit in unserem Falle nur einen geringen Einfluß haben kann. Schließlich steht Kohlenstoff am Anfange des periodischen Systems und hat dementsprechend eine äußerst weiche  $K$ -Strahlung, so daß bei Bestrahlung mit der viel härteren  $\text{Cu}$ -Strahlung alle Elektronen im Atom mit guter Annäherung als frei beweglich (dem ursprünglichen Thomsonschen Ansatz entsprechend) angesehen werden können. Der Versuch zeigte auch hier eine starke Abnahme der gestreuten Amplitude mit zunehmendem Winkel zwischen Beobachtungsrichtung und Primärstrahl; im Beobachtungsbereich bis auf den dritten Teil der beim kleinsten Winkel beobach-

teten Amplitude. Unter den ungünstigsten Bedingungen kann die Wärmebewegung nur eine Abnahme dieser Amplitude um 8 % erklären. Es ist also fraglos noch ein anderer, hier stark überwiegender Effekt vorhanden, der nach dem Obigen von der Wirkung der mit der Primärwellenlänge vergleichbaren Elektronenabstände im Atom herrühren soll.

Die nunmehr erwachsende Aufgabe besteht darin, aus der möglichst genau beobachteten Abhängigkeit der Streuamplitude vom Winkel möglichst zwingende Rückschlüsse zu machen auf die Elektronenanordnung im Atom.

Zunächst wurde diesem Verlangen nur in sehr grober Weise entsprochen. Es wurde das Kohlenstoffatom als Kugel angesehen, in welcher die 6 Elektronen sich beliebig herumbewegen konnten, und die Beobachtungen benutzt, um auf den Radius dieser Kugel zu schließen. Dabei ergab sich, daß derselbe (im Diamant) ungefähr gleich dem vierten Teil des Abstandes der Atommittelpunkte ist. Trotz jener Annahme, durch die alle Einzelheiten gewaltsam nivelliert werden, hat die Bestimmung ein Interesse, da der aus dieser Bestimmung hervorgehende Atomdurchmesser wirklich diesen Namen verdient, was man z. B. von den in der kinetischen Gastheorie nach den klassischen Methoden bestimmten Größen gleichen Namens nicht ohne weiteres behaupten kann. Tatsächlich messen die Durchmesser der kinetischen Gastheorie die Abstände, bis auf welche die Atome oder Moleküle sich infolge ihrer kinetischen Energie unter Überwindung abstoßender Molekularkräfte nähern können. Mit den wirklichen Dimensionen des Elektronensystems der Atome hängen sie nur mittelbar zusammen. Neuerdings haben *W. L. Bragg* und seine Mitarbeiter schöne und genaue Messungen über die Winkelabhängigkeit der Streuamplitude einiger Atome veröffentlicht, wobei die Reflexionsmethode zugrunde gelegt und zur Reduktion der Messungen eine von *Darwin* ausgearbeitete Theorie verwendet wird<sup>3)</sup>. Zwar ergeben die Kurven auch bei dieser genauen Bestimmung nicht die Möglichkeit, aus ihnen ohne weiteres die Elektronenanordnung zwangsläufig abzuleiten. Aber das ist wohl auch kaum von noch so guten Beobachtungen zu erwarten. Dagegen ist es *Bragg* sehr wohl möglich, auf Grund bestimmter Annahmen über die Elektronenbahnen im Atom die zu erwartende Streuamplitude als Funktion des Winkels zu berechnen und durch Vergleich mit der experimentellen Kurve manche von diesen Annahmen als unzutreffend abzutun. Es scheint, daß die beste Übereinstimmung erreicht wird mit Modellen, über welche *Bohr* in der letzten Zeit einige kurze

<sup>3)</sup> Die Idee, inneratomare Interferenzen für die eigenartigen Intensitätsverhältnisse verantwortlich zu machen, ist an vielen Stellen der Literatur (ich zähle jetzt vier) ungefähr gleichzeitig und offenbar unabhängig aufgetaucht. 1914—1915 wiesen darauf hin *W. H. Bragg*, *Darwin*, *Debye* und *Compton*. Unter diesen ist *Darwin* zeitlich der erste.

Andeutungen veröffentlicht hat, welche hoffentlich bald durch eine ausführlichere Darstellung, insbesondere der zugrunde gelegten Prinzipien, gefolgt werden mögen. Daß uns so eine Methode zur Verfügung steht, einen direkten Aufschluß über das Atominnere zu gewinnen nach denselben Prinzipien, wonach man z. B. aus gewissen Besonderheiten des Regenbogens auf die Größe der erzeugenden Wassertropfen schließt, ist von ganz besonderem Interesse.

Es wäre verfehlt, wollte man mit den bisherigen theoretischen Überlegungen und experimentellen Methoden alles Wünschenswerte als auch nur prinzipiell erreicht ansehen. Die Theorie ist in ihrem Kern der Dispersionstheorie der Optik nachgebildet, vermeidet aber vorsichtigerweise die Nähe der möglichen Eigenfrequenzen der Elektronen. Daher die Annahme der freien Beweglichkeit derselben und damit, bei den gebräuchlichen Wellenlängen der Primärstrahlung, die Beschränkung auf Atome mit kleinem Atomgewicht. Es ist keineswegs klar, wie die Verbesserung der Theorie zu geschehen hat für Fälle, bei denen die Frequenz der Eigenstrahlung sich derjenigen der anregenden Strahlung nähert. Zwar ist ein formaler Ansatz ohne weiteres möglich, das Interessante liegt aber dort, wo man die Eigenfrequenzen in Beziehung zu den Atomeigenschaften setzen will. Ohne eine Verletzung der Maxwell'schen Theorie und eine Heranziehung von Quantengesetzen wird man sicher nicht auskommen. Das zeigt schon z. B. der ähnlich liegende Fall der optischen Absorptionslinien im Natriumdampf, die selber in ihren Frequenzen rein quanten-phänomenologisch erklärt sind durch die Energiedifferenzen der zugehörigen stationären Bahnen, für die Lichtfortpflanzung aber so wirken, als gäbe es tatsächlich im Na-Atom Elektronen, welche mit jener Frequenz und zugleich in fester Phasenbeziehung zur erregenden Welle hin- und herpendeln. Auch die experimentelle Methode ist nicht eigentlich dem besonderen Zwecke angepaßt. Die interessante Veränderlichkeit der Streuamplitude mit dem Beobachtungswinkel kann nur erschlossen werden auf einem längeren Wege nach einer Reihe von Reduktionen, die dazu dienen, alles, was auf Rechnung der regelmäßigen Lagerung der Atome im Kristall kommt, zu eliminieren. Es ist klar, daß eine Methode, bei der ein solcher Eliminationsprozeß von vornherein unnötig wäre, sehr den Vorzug verdienen würde. Es scheint aber besonders schwierig zu sein, die vielen, für den vorliegenden Zweck eine Komplikation bedeutenden Interferenzmöglichkeiten durch eine geschickte experimentelle Anordnung zu umgehen. Zeigen doch sogar Flüssigkeiten solche störenden Interferenzen schon allein deshalb, weil die Moleküle einander gegenseitig endliche Raumteile verdecken, und zwar, trotzdem die Lagerung der Moleküle im Raume völlig ungeordnet ist.

Läßt also sowohl Theorie wie Experiment noch

zu wünschen übrig, so ist es doch gelungen, mit diesen mangelhaften Mitteln seit der Laueschen Entdeckung ein gutes Stück weiter vorzudringen, aber auf einem Wege durch jene Entdeckung eröffnet und mit denselben theoretischen Grundansichten über die Interferenz, welche die Lauesche Theorie kennzeichnen.

#### Literatur.

##### (Originalabhandlungen.)

- H. Rubens u. F. Nichols, Wärmestrahlen großer Wellenlänge. Wied. Ann. 60, S. 418, 1897.
- H. Rubens u. Wood, Isolierung langwelliger Wärmestrahlung durch Quarzlinien. Berl. Sitz.-Ber. S. 1122, 1910.
- H. Rubens u. Hollnagel, Messungen im langwelligem Spektrum. Berl. Sitz.-Ber. S. 26, 1910.
- H. Rubens, Über langwellige Reststrahlen des Kalkspath. Verh. d. D. Phys. Ges. 13, S. 102, 1911.
- C. G. Barkla, Die Energie der sekundären Röntgenstrahlung. Phil. mag. 7, S. 543, 1904.
- C. G. Barkla, Polarisierte Röntgenstrahlung. Phil. Transact. A 204, S. 467, 1905; Proc. Roy. Soc. 74, S. 474, 1905; 77, S. 247, 1906. Sekundäre Röntgenstrahlung. Phil. Mag. 11, S. 812, 1906.
- H. Haga, Polarisation von Röntgenstrahlen und Sekundärstrahlen. Proc. of Amst., 30. Juni 1906; Ann. d. Phys. 23, S. 439, 1907.
- J. Herweg, Polarisation von Röntgenstrahlen. Ann. d. Phys. 29, S. 398, 1909.
- C. G. Barkla u. Sadler, Die Absorption von Röntgenstrahlen. Phil. Mag. 17, S. 739, 1909.
- F. Haber, Zusammenhang ultraroter und ultravioletter Eigenfrequenzen. Verh. d. D. Phys. Ges. 13, S. 1117, 1911.
- W. Friedrich, P. Knipping u. M. v. Laue, Interferenzerscheinungen bei Röntgenstrahlen. Münch. Ber. S. 303, 1912; Ann. d. Phys. 41, S. 971, 1913.
- M. v. Laue, Eine quantitative Prüfung der Theorie für die Interferenzerscheinungen bei Röntgenstrahlen. Münch. Ber. S. 363, 1912.
- W. H. u. W. L. Bragg, Die Spiegelreflexion der Röntgenstrahlen. Nature 90, S. 410, 1912.
- C. G. Barkla u. Martyn, Reflexion der Röntgenstrahlen. Nature 90, S. 435, 1912.
- W. Friedrich, Eine neue Interferenzerscheinung bei Röntgenstrahlen. Phys. Zeitschr. 14, S. 317, 1913.
- W. H. Bragg, Die Spiegelreflexion der Röntgenstrahlen. Proc. Roy. Soc. A 88, S. 277, 1913; 88, S. 428, 1913.
- P. Debye, Einfluß der Wärmebewegung auf die Interferenzerscheinungen bei Röntgenstrahlen. Verh. d. D. Phys. Ges. 15, S. 678, 1913.
- P. Debye, Über die Intensitätsverteilung in den mit Röntgenstrahlen erzeugten Interferenzbildern. Verh. d. D. Phys. Ges. 15, S. 738, 1913.
- P. Debye, Spektrale Zerlegung der Röntgenstrahlen mittels Reflexion und Wärmebewegung. Verh. d. D. Phys. Ges. 15, S. 857, 1913.
- W. L. Bragg, Die Reflexion von Röntgenstrahlen (zusf. Ber.). Jahrbuch der Rad. u. El. 11, S. 346, 1914.
- C. G. Darwin, Theorie der X-Strahlreflexion. Phil. Mag. 27, S. 315, 675, 1914.
- M. v. Laue, Über den Temperatureinfluß bei den Interferenzerscheinungen an Röntgenstrahlen. Ann. d. Phys. 42, S. 1561, 1914.
- P. Debye, Interferenzen von Röntgenstrahlen und Wärmebewegung. Ann. d. Phys. 43, S. 49, 1914.
- M. v. Laue u. St. van Lingem, Experim. Untersuchungen über den Debyeeffekt. Phys. Z. 15, S. 75, 1914.
- W. H. Bragg, Die Intensität der Reflexion von Röntgenstrahlen an Kristallen. Phil. Mag. 27, S. 881, 1914.



- E. Schrödinger*, Über die Schärfe der mit Röntgenstrahlen erzeugten Interferenzbilder. *Phys. Z.* 15, S. 79, 1914.
- E. Schrödinger*, Zur Theorie des Debyeeffekts. *Phys. Z.* 15, S. 497, 1914.
- P. Debye*, Zerstreuung von Röntgenstrahlen. *Ann. d. Phys.* 46, S. 809, 1915.
- W. H. Bragg*, Bakerian Lecture, März 1915; *Phil. Transact. A* 215, S. 253, 1915.
- H. Compton*, Elektronenanordnung in Atomen. *Nature*, Mai 1915.
- P. Debye u. P. Scherrer*, Interferenzen an regellos orientierten Teilchen im Röntgenlicht. I. Mitteilung: *Gött. Nachr.* 4. Dez. 1915, und *Phys. Z.* 17, S. 277, 1916; II. Mitteilung: *Gött. Nachr.* 1916, S. 16.
- W. Kossel*, Über Molekülbildung als Frage des Atombaus. *Ann. d. Phys.* 49, S. 229, 1916.
- C. G. Barkla u. Dunlop*, Zerstreuung von Röntgenstrahlen und Atomstruktur. *Phil. Mag.* 31, S. 222, 1916.
- H. Compton*, Ein Röntgenspektrometer und das Hochfrequenzspektrum von Wolfram. *Phys. Rev.* 7, S. 646, 1916.
- A. W. Hull*, Eine neue Methode der X-Strahl-Kristallanalyse. *Phys. Rev.* 10, S. 661, 1917.
- P. Debye u. P. Scherrer*, Interferenzen an regellos orientierten Teilchen. III. Mitteilung: *Phys. Z.* 18, S. 291, 1917.
- H. Compton*, Intensität der Röntgenstrahlreflexion und Elektronenanordnung. *Phys. Rev.* 9, S. 29, 1917.
- P. Debye u. P. Scherrer*, Über die Konstitution von Graphit und amorpher Kohle. *Gött. Nachr.* 2, S. 180, 1917.
- H. Faxén*, Über die bei der Interferenz von Röntgenstrahlen durch die Wärmebewegung entstehende zerstreute Strahlung. *Ann. d. Phys.* 54, S. 615, 1917.
- M. Born u. A. Landé*, Über die absolute Berechnung von Kristalleigenschaften mit Hilfe Bohrscher Atommodelle. *Berl. Ber.* 1918, S. 1048. *Verh. d. D. Phys. Ges.* 20, S. 210, 1918.
- K. Fajans*, Thermochemische Prüfung der Bornschen Kristallgittertheorie. *Verh. d. D. Phys. Ges.* 21, S. 539, 1919.
- F. Haber*, Beiträge zur Konstitution der Metalle. *Berl. Ber.* 1919, S. 506 u. 990.
- D. Coster*, Der Bindungsring im Diamant. *Proc. of Roy. Ac. of Amsterdam* XXI, 1919; XXII, S. 536, 1919.
- W. L. Bragg*, Anordnung der Atome in Kristallen. *Phil. Mag.* 40, S. 169, 1920.
- P. P. Ewald*, Zum Reflexionsgesetz der Röntgenstrahlen. *Z. f. Phys.* 2, S. 332, 1920.
- T. Aurén*, Streuung und Absorption von harten Röntgenstrahlen an den leichtesten Elementen. *Mitteil. des Nobelinstituts* Bd. 4, Nr. 5, 1920.
- G. A. Schott*, Theorie der Streustrahlung von X- und  $\gamma$ -Strahlen. *Proc. Roy. Soc.* 96, S. 410, 1920.
- W. L. Bragg, James u. Bosanquet*, Die Intensität der Reflexion von Röntgenstrahlen durch Steinsalz. *Phil. Mag.* 41, S. 309, 1921.
- R. Glocker u. Kaupp*, Atomstruktur und Streustrahlung. *Z. f. Phys.* 5, S. 389, 1921; *Ann. d. Phys.* 64, S. 541, 1921.
- W. L. Bragg, James u. Bosanquet*, Streuung der Röntgenstrahlen durch die Atome eines Kristalls. *Z. f. Phys.* 8, S. 27, 1921.
- W. L. Bragg, James u. Bosanquet*, Intensität der Reflexion von Röntgenstrahlen durch Steinsalz. *Phil. Mag.* 42, S. 1, 1921.
- N. Bohr*, Atomstruktur, *Nature* 107, S. 104, 1921.

## Die Bedeutung des Lauediagrammes für die Kristallographie.

Von Paul Niggli, Zürich.

In der Geschichte der Naturwissenschaften bilden die letzten zwanzig Jahre Entwicklung der Mineralogie ein denkwürdiges Kapitel. Klar und deutlich ist aus ihnen zu ersehen, in welcher Weise der Ausbau angewandter und beschreibender Wissenschaften vor sich geht. Der Beginn des neuen Jahrhunderts stand im Zeichen der *physikalischen Chemie*. Die Ausarbeitung der Phasenlehre rückte die Anwendung auf die komplizierten Vorgänge der Mineralbildung in den Bereich des Möglichen. Die Fragestellungen wurden präziser, die Ausdrucksweise der Mineralogen paßte sich der Sprache der Physikochemiker an. Großen Dank schuldet man den Pionieren dieser Betrachtungsweise. Erfolg versprechende Resultate wurden, mit wenigen Ausnahmen, jedoch erst erzielt, als eine jüngere Generation, mit den Grundlagen der physikalischen Chemie völlig vertraut, experimentell zu arbeiten begann. Ein treffliches Vorbild waren ihnen die Untersuchungen *J. H. van't Hoff's*.

Auch in die Domäne der *Kristallographie* drang die physikalisch-chemische Betrachtungsweise. Wachstums- und Auflösungserscheinungen der Kristalle, Polymorphie und Isomorphie wurden von ihrem Standpunkte aus neu unter-

sucht. Der Kristall war eine Phase geworden, wie Flüssigkeiten und Gase. Strukturfragen traten ganz in den Hintergrund. Die beschreibende Kristallographie, glücklicherweise sorgsam gepflegt von einer kleinen Schar der Modeströmung nicht ganz Verfallenen, hatte wenig Anziehungskraft mehr. Die Zeit ihres letzten Aufschwunges, den sie unter *P. Groths* und *E. Fedorows* Führung genommen hatte, schien vorbei zu sein.

Da hatte vor nun zehn Jahren ein durch *M. Laue's* Anregung von *Knipping* und *Friedrich* ausgeführter Versuch eine Neubelebung kristallographischer Forschung zur Folge, die in der Geschichte ihresgleichen sucht. In den Röntgenstrahlen war ein neues Mittel gefunden, die Struktur der Kristalle, das heißt ihren Aufbau aus kleinsten Teilchen, zu erforschen. Und dieses Mittel schien an Eleganz und Sicherheit alle bislang bekannten, von wenig fundierten Hypothesen abhängigen Verfahren weit zu übertreffen. Insbesondere *W. H.* und *W. L. Bragg* erkannten die Bedeutung dieser Versuche für die Kristallographie, und am weiteren Ausbau beteiligten sich trotz des Krieges alle Nationen. Heute weiß jeder Chemiker und Physiker, daß er

ohne kristallographische Kenntnisse den wissenschaftlichen Tagesfragen nicht beikommen kann. Die Kristallstrukturlehre ist zu einem Brennpunkt geworden, in dem Physik und Chemie ihre Vereinigung finden.

Wie war das in der kurzen Zeit möglich? Die Beantwortung dieser Frage zeigt uns so recht, wie *spekulative Forschung* und *rein mathematische Aufgabenbildung* notwendige Elemente der Naturwissenschaften sind. Hätte nicht dank der genialen Forscher *R. J. Haüy* und *A. Bravais* und dank der gewissenhaften Ausarbeitung ihrer Hypothesen durch *L. Sohncke*, *A. Schoenflies* und *E. Fedorow* eine vollständige Theorie der Kristallstruktur vor jeglicher experimenteller Bestätigung existiert, wir würden heute über allgemeine Erkenntnisse nicht hinausgekommen sein. Es ist kein Zufall, daß *Laues* Entdeckung in *München* gemacht wurde, wo einer der wenigen deutschsprachigen Forscher Kristallographie doziert, der von jeher der Besprechung der Kristallstruktur besondere Sorgfalt widmete. Ohne die felsenfeste Überzeugung, daß die Kristalle raumgitterartigen Aufbau bestimmter Dimensionierung besitzen, sind des Physiklers Versuche nicht denkbar. Es ist kein Zufall, daß die ersten Kristallstrukturbestimmungen in England gemacht wurden, wo durch *Barlows* und *Poppes* Forschungen ein einfaches Prinzip der Kristallstruktur, das Prinzip der dichtesten Kugelpackungen, ausgearbeitet worden war.

Eine an sich rein mathematische Theorie des Kristallaufbaues aus diskreten Massenteilchen lag also im Zeitpunkt der Münchener Versuche vor. Sie ihres nur mathematischen Charakters zu entkleiden, physikalisch und chemisch zu interpretieren, war den an *Laues* Entdeckung anschließenden Untersuchungen beschieden. Sehen wir einmal zu, welches die bis heute erzielten Resultate sind.

#### *Kristallgeometrische Ergebnisse.*

Immer und immer wieder hört man, daß die mangelhafte Entwicklung des Raumvorstellungsvermögens die größten Schwierigkeiten für das Eindringen in unser neues Forschungsgebiet darbietet. In der Tat, wem die phänomenologische Kristallographie mit ihren simplen 32 Kristallklassen und ihren wenigen verschiedenen Formen nicht erlernbar scheint, der möge sich hüten, die Kristallstrukturlehre mit ihren 230 verschiedenen Raumsystemen und ihren vielen durch verschiedene Punktlagen gegebenen Unterfällen zu studieren. Das aber muß einmal gesagt werden, eine moderne Strukturbestimmung verlangt diesen Überblick. In sehr vielen neueren, an sich sicherlich verdienstvollen Arbeiten finden sich Schlußfolgerungen, die völlig unberechtigt sind, und die nur möglich waren, weil den Autoren die Übersicht über die ganze Mannigfaltigkeit fehlte. Da in unserer raschlebigen Zeit jedermann anderes zu tun hat, als Korrek-

turen anzubringen, werden diese Trugschlüsse oft nicht aufgedeckt und gehen in die Literatur über. Dem kann meiner Ansicht nach nur ein innigeres Zusammenarbeiten von Physiker und Kristallograph steuern.

Im besonderen standen und stehen zum Teil jetzt noch 4 Hauptfragen der geometrischen Kristallographie des Diskontinuums zur Diskussion: 1. Wenn wir sagen, die Kristalle seien raumgitterartig aus Massenteilchen aufgebaut, so bleibt die Art, in der das möglich ist, unbestimmt, solange das Verhältnis zwischen Teilchengröße und Raumgitterkonstanten nicht feststeht. Raumgitterstruktur bedeutet bestimmt geordnete Massenverteilung, derart, daß parallel gleiche Verhältnisse sich in Eckpunkten lückenlos und parallel aneinander gereihter Parallelepipede vorfinden. In welcher Beziehung stehen nun die Kantenlängen dieser Gitterbereiche zu den Teilchengrößen: Elektron, Atom und Molekül? Sind sie ein Vielfaches der Molekülgröße, der Atomgröße oder der Elektronengröße? Schon vor den *Laueschen* Experimenten stand für den, der Dimensionierungsfragen zu behandeln versteht, fest, daß die Perioden der Wiederholung von der Größenordnung der Angströmeinheiten ( $\text{\AA}$ ) sein müssen. Das nähert sich aber atomaren Verhältnissen. Der Kristall kann also nicht als Molekülgitter in der Weise ausgebildet sein, daß scharf gesonderte Einzelmoleküle in großen Abständen aufeinander folgen. *P. Groth* drückte diese Erkenntnis (siehe z. B. *Physikalische Kristallographie* 1903, S. 293) so aus: „Ein Kristall (unendlich ausgedehnt gedacht) besteht aus  $n$  ineinandergestellten regelmäßigen Punktsystemen, deren jedes von gleichartigen Atomen gebildet wird.“ Die Untersuchungen haben diese Vermutungen im vollen Umfang bestätigt, sofern wenigstens den experimentellen Forschungen die einfachste mögliche Deutung gegeben wird. In Richtung der kristallographischen Achsen finden wir beispielsweise folgende Perioden der Wiederholung parallel gleicher Lage bei verschiedenen Substanzen. Die in Klammern stehenden Zahlen geben an, wie viele Moleküle der hingeschriebenen Formulierung in einem Parallelepipede dieser Kantenlängen (*Elementarparallelepiped*) vorhanden sind. Es bedeuten  $a$ ,  $b$ ,  $c$  diese Kantenlängen,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  die Winkel zwischen den Kanten, entsprechend der üblichen kristallographischen Bezeichnung.

Die Gitterstruktur der Kristalle ist somit so dimensioniert, daß erst die Kenntnis der Einzelatomlagen ein Verstehen gestattet. *Die Atomschwerpunkte sind bereits für die einfachste Betrachtung konstituierende Punktlagen.*

2. Mit diesen Verhältnissen steht eine zweite Frage in engem Zusammenhang. Die tatsächlich beobachtbaren Kristallsymmetrien lassen sich, wie *Schoenflies* zuerst gezeigt hat, auf *reine Anordnungssymmetrien* zurückführen. Das heißt, durch bestimmte Gruppierung an sich



Tabelle 1.

| Formel                        | Zahl der Moleküle | Dimensionen (Länge in $\text{\AA} = 10^{-8} \text{ cm}$ )              | System                               |
|-------------------------------|-------------------|--|--------------------------------------|
| Cu .....                      | (4)               | $a = b = c = 3,61 \text{ \AA}$   | kubisch                              |
| Ag .....                      |                   | $a = b = c = 4,06$   |                                      |
| Au .....                      |                   | $a = b = c = 4,05$   |                                      |
| Fe $\gamma$ .....             |                   | $a = b = c = 5,56$   |                                      |
| Co .....                      |                   | $a = b = c = 3,57$   |                                      |
| Ni $\alpha$ .....             |                   | $a = b = c = 3,53$   |                                      |
| Pb .....                      |                   | $a = b = c = 4,91$   |                                      |
| Th .....                      |                   | $a = b = c = 5,11$   |                                      |
| Al .....                      |                   | $a = b = c = 4,07$   |                                      |
| Ca .....                      |                   | $a = b = c = 5,56$   |                                      |
| Li .....                      | (2)               | $a = b = c = 3,50$   | $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ |
| Na .....                      |                   | $a = b = c = 4,30$   |                                      |
| Cr .....                      |                   | $a = b = c = 2,91$   |                                      |
| Fe $\alpha$ .....             |                   | $a = b = c = 2,86$   |                                      |
| Ni .....                      |                   | $a = b = c = 2,76$   |                                      |
| W .....                       |                   | $a = b = c = 3,18$   |                                      |
| C Diamant .....               |                   | $a = b = c = 3,53$   |                                      |
| Si .....                      |                   | $a = b = c = 5,43$   |                                      |
| Sn (grau) .....               |                   | $a = b = c = 6,46$   |                                      |
| Sn (weiß) .....               | (3)               | $a = b = 5,84, c = 2,37, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$           | tetragonal                           |
| Mg .....                      | (2)               | $a = b = 3,22, c = 5,23$   | hexagonal                            |
| Co .....                      | (2)               | $a = b = 2,52, c = 4,1$  |                                      |
| Osmiridium .....              | (2)               | $a = b = 2,90, c = 4,60$   |                                      |
| As metallisch .....           | (2)               | $a = b = c = 4,14, \alpha = \beta = \gamma = 54^\circ 8'$              |                                      |
| Sb metallisch .....           |                   | $a = b = c = 4,50, \alpha = \beta = \gamma = 56^\circ 37'$             | rhomboedrisch                        |
| Bi metallisch .....           |                   | $a = b = c = 4,72, \alpha = \beta = \gamma = 57^\circ 16'$             |                                      |
| C Graphit .....               | (2)               | $a = b = c = 3,70, \alpha = \beta = \gamma = 39^\circ 45'$             |                                      |
| LiF .....                     | (4)               | $a = b = c = 4,02$   | kubisch                              |
| LiCl .....                    |                   | $a = b = c = 5,11$   |                                      |
| LiBr .....                    |                   | $a = b = c = 5,47$   |                                      |
| LiJ .....                     |                   | $a = b = c = 5,99$   |                                      |
| NaF .....                     |                   | $a = b = c = 4,63$   |                                      |
| NaCl .....                    |                   | $a = b = c = 5,63$   |                                      |
| NaBr .....                    |                   | $a = b = c = 5,95$   |                                      |
| NaJ .....                     |                   | $a = b = c = 6,45$   |                                      |
| KF .....                      |                   | $a = b = c = 5,35$   |                                      |
| KCl .....                     |                   | $a = b = c = 6,27$   |                                      |
| KBr .....                     |                   | $a = b = c = 6,57$   |                                      |
| KJ .....                      |                   | $a = b = c = 7,04$   |                                      |
| RbCl .....                    |                   | $a = b = c = 6,57$   |                                      |
| RbBr .....                    |                   | $a = b = c = 6,87$   |                                      |
| RbJ .....                     |                   | $a = b = c = 7,32$   |                                      |
| MgO .....                     | (4)               | $a = b = c = 4,22, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$                 | kubisch                              |
| PbS .....                     | (4)               | $a = b = c = 5,94, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$                 | kubisch                              |
| ZnS Zinkblende .....          | (4)               | $a = b = c = 5,41, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$                 | kubisch                              |
| ZnO .....                     | (2)               | $a = b = 3,22, c = 5,2, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 60^\circ$  | hexagonal                            |
| AgJ .....                     | (2)               | $a = b = 4,57, c = 7,50, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 60^\circ$ | hexagonal                            |
| H <sub>2</sub> O .....        | (2)               | $a = b = 3,46, c = 5,33, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 60^\circ$ | hexagonal                            |
| CaF <sub>2</sub> .....        | (4)               | $a = b = c = 5,47, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$                 | kubisch                              |
| Cu <sub>2</sub> O .....       | (2)               | $a = b = c = 4,29$   | kubisch                              |
| FeS <sub>2</sub> Pyrit .....  | (4)               | $a = b = c = 5,40$   |                                      |
| TiO <sub>2</sub> Rutil .....  | (2)               | $a = b = 4,52, c = 2,91, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$           | tetragonal                           |
| TiO <sub>2</sub> Anatas ..... | (8)               | $a = b = 5,27, c = 9,37, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$           | tetragonal                           |
| SnO <sub>2</sub> .....        | (2)               | $a = b = 4,67, c = 3,14$   | tetragonal                           |
| ZrSiO <sub>4</sub> .....      | (8)               | $a = b = 9,20, c = 5,87$   | tetragonal                           |
| YPO <sub>4</sub> .....        | (8)               | $a = b = 9,60, c = 5,94$   | tetragonal                           |
| SiO <sub>2</sub> Quarz .....  | (3)               | $a = b = 4,88, c = 5,37, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 60^\circ$ | hexagonal                            |

| Formel   | Zahl der Moleküle | Dimensionen (Länge in Å = 10 <sup>-8</sup> cm)                                     | System          |
|--|-------------------|--|-----------------|
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> PtC <sub>6</sub> ..... | (4)               | $a = b = c = 9,84, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$                             | kubisch         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Korund .....            | (2)               | $a = b = c = 7,13 \text{ Å}, \alpha = \beta = \gamma = 30^\circ 24'$               | } rhomboedrisch |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                   | (2)               | $a = b = c = 7,63, \alpha = \beta = \gamma = 30^\circ 19'$                         |                 |
| Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....                   | (8)               | $a = b = c = 8,36, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$                             | kubisch         |
| Mn(OH) <sub>2</sub> .....                              | (2)               | $a = b = 3,34, c = 4,68, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 60^\circ$             | } hexagonal     |
| Mg(OH) <sub>2</sub> .....                              | (2)               | $a = b = 3,13, c = 4,75, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 60^\circ$             |                 |
| CaCO <sub>3</sub> Calcit .....                         | (2)               | $a = b = c = 6,34 \text{ bzw. } 6,16, \alpha = \beta = \gamma = 46^\circ 6'$       | } rhomboedrisch |
| MnCO <sub>3</sub> .....                                | (2)               | $a = b = c = 5,61, \alpha = \beta = \gamma = 47^\circ 46'$                         |                 |
| MgCO <sub>3</sub> .....                                | (2)               | $a = b = c = 5,64, \alpha = \beta = \gamma = 48^\circ 10'$                         |                 |
| NaNO <sub>3</sub> .....                                | (2)               | $a = b = c = 6,31, \alpha = \beta = \gamma = 47^\circ 14'$                         |                 |
| NaClO <sub>3</sub> .....                               | (4)               | $a = b = c = 6,55, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$                             | } kubisch       |
| NaBrO <sub>3</sub> .....                               | (4)               | $a = b = c = 6,74, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$                             |                 |
| Cs(ClJCl) .....  | (1)               | $a = b = c = 5,47, \alpha = \beta = \gamma = 70^\circ 42'$                         | rhomboedrisch   |
| NH <sub>4</sub> J .....                                | (4)               | $a = b = c = 7,2, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$                              | kubisch         |
| N(CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> J .....               | (2)               | $a = b = 7,88, c = 5,69, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$                       | tetragonal      |
| [SiO <sub>4</sub> ] Mg <sub>2</sub> .....              | (4)               | $a = 4,84, b = 10,40, c = 6,10, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$                | rhombisch       |
| Zimtsäure (Traus) .....                                | (4)               | $a = 11,65, b = 14,10, c = 4,26, \alpha = \gamma = 90^\circ, \beta = 98^\circ 60'$ | monoklin        |

völlig beliebig gestalteter und gelegener Atome lassen sich Massenteilchenhaufen aufbauen, denen als Ganzes die Symmetrie irgendeiner der 32 Kristallklassen zukommt. Je höher die verlangte Symmetrie ist, in um so mehr verschiedenen Stellungen muß dann jedoch ein und dasselbe Teilchen auftreten, damit das Gesamtmotiv die hohe Symmetriewirkung erzeugen kann. Ein Beispiel: Kubisch holoedrische Kristalle müßten von jeder in der stöchiometrischen Formel in der Einzahl vorkommenden Atomart mindestens 48 verschieden zueinander gelagerte Teilchen im Elementarwürfel besitzen. Die Zusammenstellung von vorhin zeigt, daß die Zahl der im Elementarparallelepiped auftretenden Atome oder Moleküle gleicher Art meist eine kleine ist. Für anorganische Verbindungen beträgt sie für letztere häufig 2, 4 oder 8. Die Kristallsymmetrie ist in solchem Falle nicht nur die Resultante an sich beliebig gelegener, lediglich symmetrisch gruppierter Atome, sondern sie ist zum Teil bestimmt durch die spezielle Lage, Anordnung, Beschaffenheit und Symmetriewirkung der Teilchen selbst. Das ist eines der wichtigsten Ergebnisse der letzten 10 Jahre.

3. Ein Sonderfall stand in der Zeit vor Aufindung der Lauediagramme besonders ernstlich zur Diskussion. Wenn ein und dieselbe Atomart in einem Kristallgebäude in verschiedenen Stellungen auftritt, sind diese dann alle deckgleich (Sohnke) oder können sie auch nur spiegelbildlich gleich sein (Schoenflies)? Die Strukturbestimmung hat entschieden, daß letzteres ebenso wahrscheinlich ist und in manchen Fällen zur Deutung der beobachteten phänomenologischen Symmetrie angenommen werden muß.

4. Die vorläufige Erledigung dieser Hauptfragen ermöglichte, die Lösung der praktisch wichtigen Frage nach der für Strukturbestimmungen zweckmäßigsten Darstellung der 230

Raumgruppen in Angriff zu nehmen. Es war das der gruppentheoretischen Ableitung von Schoenflies gegenüber eine durchaus neuartige Aufgabe. Jeder der 230 Gruppen von Deckoperationen entspricht eine im Raum bestimmt verteilte Kombination von Symmetrieelementscharen (Raumsysteme). Es galt nun jedes dieser Raumsysteme analytisch-geometrisch vollständig zu erforschen und die Ergebnisse derart darzustellen, daß eine Übersicht über die möglichen Fälle verschiedener Punktlagen resultierte. Eine erste Lösung vermittelt des Verfassers Buch über die „Geometrische Kristallographie des Diskontinuums“, mit dessen Hilfe nach Vorbestimmung einer Anzahl Größen (Größe des Elementarparallelepipeds; Zahl der darin befindlichen Moleküle) die Strukturmöglichkeiten vollständig übersehen werden können.

Die Bestimmung dieser Größen selbst und die Nutzbarmachung der Intensitätsmessungen zur endgültigen Festlegung der Atomschwerpunktlagen richtet sich nach dem besonderen Verfahren, welches angewandt wird. Im wesentlichen sind drei in dieser Zeitschrift schon mehrfach behandelte Methoden mit mannigfachen Varianten bekannt. Die Auswertung kann mit Hilfe der Lauediagramme vorgenommen werden, oder auf Grund von direkten Intensitätsmessungen nach dem Braggsschen Verfahren, oder sich stützend auf die Debye-Scherrer-Photogramme.

Jede dieser Methoden ist in den verflossenen Jahren ausgearbeitet und verbessert worden. Es ist von der Zukunft zu hoffen, daß sie noch weitere Verfeinerungen bringt.

Das kristallographisch übersichtlichste Bild vermittelt das Lauediagramm. Jedem Interferenzfleckchen kann eine kristallonomische Fläche zugeordnet werden. Es ist nicht ohne Interesse, daß bereits im Jahre 1858 L. Ditscheiner ein Projektionsverfahren (die Kreisprojektion) be-



schrieben hat, das im wesentlichen das Bild der Lauediagramme ergibt.

Bis heute ist die Struktur von etwa 80 Kristallarten soweit bekannt, daß die Lage der Atomschwerpunkte (ruhend gedacht) mit einiger Wahrscheinlichkeit angegeben werden kann. Von vielen anderen Substanzen liegen Teilbestimmungen vor. In einfacher Weise können wir die Strukturen wie folgt beschreiben. Wir nehmen die Kanten des Elementarparallelepipedes zu Einheitsmaßstäben, legen den Nullpunkt in eine hochsymmetrische, womöglich mit Atomen besetzte Punktlage und geben die Koordinaten der übrigen Teilenschwerpunkte darauf bezogen an. Nur diejenigen Örter sind zu fixieren, welche nicht durch Translationen (Parallelverschiebungen) von der Größe der Kantenlänge des Elementarkörpers aus schon bezeichneten hervorgehen, denn diese Translationen sind für den Gesamteilchenhaufen sowieso als Deckbewegungen vor auszusetzen. Eine Zusammenstellung der wichtigsten dem Verfasser bis jetzt bekannt gewordenen Bestimmungen vermittelt Tabelle 2. Die Koordinaten sind als  $[[m \ n \ p]]$  geschrieben, der erste Wert bezieht sich auf die  $a$ -Achse, der zweite auf die  $b$ -Achse, der dritte auf die  $c$ -Achse.

Tabelle 2.

1. Elemente.<sup>1)</sup> In allseitig flächenzentrierten Würfelgittern mit  $[[000]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ \frac{1}{2} \ 0]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ 0 \ \frac{1}{2}]]$ ,  $[[0 \ \frac{1}{2} \ \frac{1}{2}]]$  als konstituierenden Atomlagen kristallisieren:

Cu, Ag, Au, Fe<sub>γ</sub>, Ni<sub>α</sub>, Co, Pb, Th, Al, Ca, Pt, Pd, Ir, Rh.  
Innenzentrierte Würfelgitter, das heißt mit  $[[000]]$  und  $[[\frac{1}{2} \ \frac{1}{2} \ \frac{1}{2}]]$  als den Atomlagen, treten auf bei:

Li, Na, Cr, Fe<sub>α</sub>, Fe<sub>β</sub>, Ni, W.

Vom kubischen Typus des Diamantes mit den Atomschwerpunkten in  $[[000]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ \frac{1}{2} \ 0]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ 0 \ \frac{1}{2}]]$ ,  $[[0 \ \frac{1}{2} \ \frac{1}{2}]]$ ,  $[[\frac{1}{4} \ \frac{1}{4} \ \frac{1}{4}]]$ ,  $[[\frac{3}{4} \ \frac{3}{4} \ \frac{1}{4}]]$ ,  $[[\frac{3}{4} \ \frac{1}{4} \ \frac{3}{4}]]$ ,  $[[\frac{1}{4} \ \frac{3}{4} \ \frac{3}{4}]]$  sind:

C als Diamant, Si, Sn (grau).

Für weißes Sn ist bei tetragonalem Elementarparallelepiped berechnet worden: Sn in  $[[000]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ 0 \ \frac{1}{2}]]$ ,  $[[0 \ \frac{1}{2} \ \frac{1}{2}]]$ .

Hexagonale Elementarparallelepipede mit der Atombesetzung in  $[[000]]$  und  $[[\frac{2}{3} \ \frac{1}{3} \ \frac{1}{2}]]$  kommen mit Sicherheit folgenden Elementen zu:

Ti, Zr, Ce, Mg, Co, Osmiridium, Os, Ru.

Vermutlich gehören u. a. auch Be, Zn, Cd hierher.

Rhomboedrische Elementarparallelepipede ( $a = b = c$ ,  $\alpha = \beta = \gamma$  von 90° verschieden) besitzen: Sb, As, Bi in den metallischen Modifikationen.

Bezogen auf  $\{0 \ 2 \ \bar{2} \ 1\} = \{1 \ 1 \ \bar{1}\}$  als Elementarrhomboeder lauten die Atompunktlagen:  $[[000]]$  und  $[[m \ n \ p]]$ , wobei  $m = n = p$ . Für Sb wurde im besonderen bestimmt  $m = 0,463$ .

<sup>1)</sup> In der Tabelle 1 nicht angegeben sind folgende Konstanten: (nach A. W. Hull)

| Hexagonal . . . | $a$   | $c$  |
|-----------------|-------|------|
| Ti . . . . .    | 2,97  | 4,72 |
| Zr . . . . .    | 3,23  | 5,14 |
| Ce . . . . .    | 3,65  | 5,46 |
| Os . . . . .    | 2,714 | 4,32 |

Für kubisch flächenzentriert kristallisierendes Ce und Th lauten  $\alpha = 5,12$  bzw. 5,04.

Graphit bezogen auf  $\{0 \ 2 \ \bar{2} \ 1\} = \{1 \ 1 \ \bar{1}\}$  als Elementarrhomboeder weist die C-Schwerpunkte in  $[[000]]$  und  $[[\frac{1}{3} \ \frac{1}{3} \ \frac{1}{3}]]$  auf.

2. Verbindungen. Kubische Kristallisation nach dem bei Steinsalz, NaCl zuerst gefundenen Typus A (= z. B. Na<sup>+</sup>) in  $[[000]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ \frac{1}{2} \ 0]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ 0 \ \frac{1}{2}]]$ ,  $[[0 \ \frac{1}{2} \ \frac{1}{2}]]$ , B (= z. B. Cl<sup>-</sup>) in  $[[\frac{1}{2} \ \frac{1}{2} \ \frac{1}{2}]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ 0 \ 0]]$ ,  $[[0 \ \frac{1}{2} \ 0]]$ ,  $[[0 \ 0 \ \frac{1}{2}]]$  ist für folgende binäre Substanzen nachgewiesen: Für die Alkalihalogenide mit Ausnahme von Cs-Salzen, für MgO (Periklas) und vermutlich die mit ihm verwandten Substanzen MgS, CaO, CaS, SrO, SrS, BaO, BaS<sup>1)</sup>. Auch PbS Bleiglanz kristallisiert nach diesem Typus. CsCl hingegen ist aufgebaut aus Cs =  $[[000]]$ , Cl =  $[[\frac{1}{2} \ \frac{1}{2} \ \frac{1}{2}]]$ .

Bei Zinkblende (ZnS) und ihren Verwandten nimmt im Elementarwürfel R<sup>++</sup> die Lagen von  $[[000]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ \frac{1}{2} \ 0]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ 0 \ \frac{1}{2}]]$ ,  $[[0 \ \frac{1}{2} \ \frac{1}{2}]]$ , S<sup>---</sup> die von  $[[\frac{1}{4} \ \frac{1}{4} \ \frac{1}{4}]]$ ,  $[[\frac{3}{4} \ \frac{3}{4} \ \frac{1}{4}]]$ ,  $[[\frac{3}{4} \ \frac{1}{4} \ \frac{3}{4}]]$ ,  $[[\frac{1}{4} \ \frac{3}{4} \ \frac{3}{4}]]$  ein. (MnS soll jedoch anders struiert sein.)

Deformierte, nun rhomboedrische, Gitter des gleichen Typus besitzt Carborund CSI.

Eine zweite Modifikation von ZnS, Wurtzit, kristallisiert hexagonal.

Auf hexagonales Elementarparallelepiped bezogen ist die Struktur vermutlich ähnlich der von ZnO, Rotzinkerz. Es liegt Zn in  $[[000]]$  und  $[[\frac{2}{3} \ \frac{1}{3} \ \frac{1}{2}]]$ , O in schätzungsweise  $[[0 \ 0 \ \frac{3}{8}]]$ ,  $[[\frac{2}{3} \ \frac{1}{3} \ \frac{7}{8}]]$ .

Die Struktur von H<sub>2</sub>O, Eis, scheint insofern verwandt zu sein, als die O-Atome gleich liegen wie die Zn-Atome von Rotzinkerz. Die Lage der H-Atome ist unbekannt.

AgJ ist vermutlich ähnlich gebaut, mit Ag in  $[[0 \ 0 \ 0]]$ ,  $[[\frac{2}{3} \ \frac{1}{3} \ \frac{1}{2}]]$  und J in  $[[0 \ 0 \ p]]$  und  $[[\frac{2}{3} \ \frac{1}{3}, p - \frac{1}{2}]]$ .

Für CaF<sub>2</sub>, Fluorit, lauten bei kubischer Symmetrie die Punktlagen: Ca =  $[[000]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ \frac{1}{2} \ 0]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ 0 \ \frac{1}{2}]]$ ,  $[[0 \ \frac{1}{2} \ \frac{1}{2}]]$ . F =  $[[\frac{1}{4} \ \frac{1}{4} \ \frac{1}{4}]]$ ,  $[[\frac{3}{4} \ \frac{3}{4} \ \frac{1}{4}]]$ ,  $[[\frac{3}{4} \ \frac{1}{4} \ \frac{3}{4}]]$ ,  $[[\frac{1}{4} \ \frac{3}{4} \ \frac{3}{4}]]$ ,  $[[\frac{3}{4} \ \frac{3}{4} \ \frac{3}{4}]]$ ,  $[[\frac{1}{4} \ \frac{1}{4} \ \frac{3}{4}]]$ ,  $[[\frac{1}{4} \ \frac{3}{4} \ \frac{1}{4}]]$ ,  $[[\frac{3}{4} \ \frac{1}{4} \ \frac{1}{4}]]$ . In (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> PtCl<sub>6</sub> nimmt der Schwerpunkt von PtCl<sub>6</sub> die Lage des Ca ein. An Stelle von F hat man sich (NH<sub>4</sub>) zu denken.

Cu<sub>2</sub>O, Cuprit, weist im Elementarwürfel Cu in  $[[000]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ \frac{1}{2} \ \frac{1}{2}]]$  und O in  $[[\frac{1}{4} \ \frac{1}{4} \ \frac{1}{4}]]$ ,  $[[\frac{3}{4} \ \frac{3}{4} \ \frac{1}{4}]]$ ,  $[[\frac{1}{4} \ \frac{3}{4} \ \frac{3}{4}]]$ ,  $[[\frac{3}{4} \ \frac{1}{4} \ \frac{3}{4}]]$  auf<sup>2)</sup>.

Die kubischen mit Pyrit, FeS<sub>2</sub>, isomorphen Verbindungen besitzen eine dem Typus Steinsalz ähnliche Struktur mit S<sub>2</sub> an Stelle von Cl, Fe an Stelle von Na. Im besonderen gilt für FeS<sub>2</sub>: Fe in  $[[000]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ \frac{1}{2} \ 0]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ 0 \ \frac{1}{2}]]$ ,  $[[0 \ \frac{1}{2} \ \frac{1}{2}]]$ , S in ungefähr  $[[\frac{39}{100} \ \frac{39}{100} \ \frac{39}{100}]]$ ,  $[[\frac{61}{100} \ \frac{61}{100} \ \frac{61}{100}]]$ ,  $[[\frac{11}{100} \ \frac{39}{100} \ \frac{69}{100}]]$ ,  $[[\frac{11}{100} \ \frac{69}{100} \ \frac{61}{100}]]$ ,  $[[\frac{39}{100} \ \frac{69}{100} \ \frac{11}{100}]]$ ,  $[[\frac{61}{100} \ \frac{11}{100} \ \frac{69}{100}]]$ ,  $[[\frac{69}{100} \ \frac{11}{100} \ \frac{39}{100}]]$ ,  $[[\frac{89}{100} \ \frac{61}{100} \ \frac{11}{100}]]$ .

TiO<sub>2</sub> als Rutil kristallisiert tetragonal. Es liegen die Ti-Atome in  $[[000]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ \frac{1}{2} \ \frac{1}{2}]]$ , die O-Atome in  $[[\frac{31}{100} \ \frac{69}{100} \ 0]]$ ,  $[[\frac{19}{100} \ \frac{19}{100} \ \frac{1}{2}]]$ ,  $[[\frac{69}{100} \ \frac{31}{100} \ 0]]$ ,  $[[\frac{81}{100} \ \frac{19}{100} \ \frac{1}{2}]]$ .

Verwandt ist SnO<sub>2</sub>, Kassiterit.

Für ZrSiO<sub>4</sub>, Zirkon, soll gelten: Zr in  $[[000]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ \frac{1}{2} \ 0]]$ ,  $[[0 \ \frac{1}{2} \ \frac{1}{2}]]$ ,  $[[\frac{1}{2} \ 0 \ \frac{1}{2}]]$ ,  $[[\frac{1}{4} \ \frac{3}{4} \ \frac{1}{4}]]$ ,  $[[\frac{3}{4} \ \frac{1}{4} \ \frac{1}{4}]]$ .

<sup>1)</sup> Neuere eigene Untersuchungen an SrO machen diese Vermutung zweifelhaft.

<sup>2)</sup> Damit isomorph ist nach eigenen strukturellen Untersuchungen Ag<sub>2</sub>O.

$[[1/4 \ 1/4 \ 3/4]]$ ,  $[[3/4 \ 3/4 \ 3/4]]$ , Si in  $[[1/2 \ 1/2 \ 1/2]]$ ,  $[[1/2 \ 0 \ 0]]$ ,  $[[0 \ 1/2 \ 0]]$ ,  $[[0 \ 0 \ 1/2]]$ ,  $[[1/4 \ 1/4 \ 1/4]]$ ,  $[[3/4 \ 3/4 \ 1/4]]$ ,  $[[1/4 \ 3/4 \ 3/4]]$ ,  $[[3/4 \ 1/4 \ 3/4]]$ . Die Lage der O-Atome scheint mir noch nicht mit nötiger Sicherheit festgestellt zu sein.

Entsprechend Zirkon scheint Xenotim  $\text{YPO}_4$  gebaut zu sein.

$\text{TiO}_2$  besitzt auch eine zweite tetragonale Modifikation: **Anatas**. Für deren Struktur gilt folgendes: Ti in den gleichen Koordinatenlagen wie C im Diamant. Doch ist das Gitter tetragonal deformiert. Über und unter jedem Ti-Atom im Abstand von  $1/5 c$  liegen die O-Atome.

**Magnetit**  $[\text{Fe}_2\text{O}_4]\text{Fe}$  ist ein Glied der isomorphen Spinellgruppe.

Im Magnetit liegen die Schwerpunkte des zweiwertigen Eisens in den Punkten  $[[000]]$ ,  $[[1/2 \ 1/2 \ 0]]$ ,  $[[0 \ 1/2 \ 1/2]]$ ,  $[[1/2 \ 0 \ 1/2]]$ ,  $[[1/4 \ 1/4 \ 1/4]]$ ,  $[[3/4 \ 3/4 \ 1/4]]$ ,  $[[3/4 \ 1/4 \ 3/4]]$ ,  $[[1/4 \ 3/4 \ 3/4]]$ .

Die Schwerpunkte des dreiwertigen Fe haben demgegenüber die Koordinaten:  $[[5/8 \ 5/8 \ 5/8]]$ ,  $[[3/8 \ 3/8 \ 5/8]]$ ,  $[[5/8 \ 3/8 \ 3/8]]$ ,  $[[3/8 \ 5/8 \ 3/8]]$ ,  $[[7/8 \ 1/8 \ 3/8]]$ ,  $[[1/8 \ 7/8 \ 3/8]]$ ,  $[[7/8 \ 3/8 \ 1/8]]$ ,  $[[1/8 \ 1/8 \ 7/8]]$ ,  $[[5/8 \ 7/8 \ 7/8]]$ ,  $[[3/8 \ 5/8 \ 7/8]]$ ,  $[[7/8 \ 5/8 \ 7/8]]$ ,  $[[5/8 \ 1/8 \ 1/8]]$ ,  $[[3/8 \ 7/8 \ 1/8]]$ ,  $[[7/8 \ 3/8 \ 1/8]]$ ,  $[[1/8 \ 5/8 \ 1/8]]$ .

Die Lage der 32 O-Atome kann man sich geometrisch etwa so veranschaulichen. Sie sind derart gruppiert, daß die Sauerstoffatome um die 4 ersten Fe"-Atome in den Eckpunkten positiver Tetraeder, um die 4 zweiten Fe"-Atome in den Eckpunkten negativer Tetraeder liegen.

Jedes Fe"-Atom ist dann im Zentrum eines regelmäßigen Oktaeders, dessen Ecken von Sauerstoffatomen besetzt sind. Die Sauerstoffatome liegen somit in Punkten, wie  $[[5/8 \ 5/8 \ 3/8]]$ ,  $[[5/8 \ 5/8 \ 7/8]]$ ,  $[[5/8 \ 3/8 \ 5/8]]$ ,  $[[3/8 \ 5/8 \ 5/8]]$ ,  $[[5/8 \ 7/8 \ 5/8]]$ ,  $[[7/8 \ 5/8 \ 5/8]]$  usw.

Einander ähnliche Struktur scheinen die hexagonalen Mineralien **Mn(OH)<sub>2</sub>**, **Pyrochroit** und **Mg(OH)<sub>2</sub>** **Bruceit** zu besitzen. Auf hexagonales Elementarparallelepiped (siehe Zusammenstellung 1) bezogen, ergeben sich für Mn bzw. Mg als Punktlage  $[[000]]$ . O von (OH) liegt bei Pyrochroit vermutlich in  $[[2/3 \ 1/3 \ 2/9]]$  und  $[[1/3 \ 2/3 \ 7/9]]$ . Die O-Atome von  $\text{Mg(OH)}_2$  werden in ihren Koordinatenwerten nicht sehr verschieden sein.

Die **Karbonate der Calcitgruppe** kristallisieren folgendermaßen: Das morphologische Rhomboeder  $\{4 \ 0 \ 4\} = \{3 \ 1 \ 1\}$  ist Elementarparallelepiped.

Darauf bezogen lauten die Punktlagen:  $\text{R}'' = [[000]]$ ,  $[[1/2 \ 1/2 \ 1/2]]$ ; C =  $[[1/4 \ 1/4 \ 1/4]]$ ,  $[[3/4 \ 3/4 \ 3/4]]$ ; O =  $[[1/4 + n, 1/4 - n, 1/4]]$ ,  $[[1/4, 1/4 + n, 1/4 - n]]$ ,  $[[1/4 - n, 1/4, 1/4 + n]]$ ,  $[[3/4 - n, 3/4 + n, 3/4]]$ ,  $[[3/4, 3/4 - n, 3/4 + n]]$ ,  $[[3/4 + n, 3/4, 3/4 - n]]$ .

n ist für verschiedene Karbonate bestimmt worden hat jedoch nach den verschiedenen Verfahren nicht übereinstimmende Werte ergeben.

Analog gebaut ist  $\text{NaNO}_3$ .

Für das kubisch kristallisierende  $\text{NaClO}_3$  wurde berechnet (bezogen auf krist. wichtigen Nullpunkt):

Na =  $[[1/12 \ 1/12 \ 1/12]]$ ,  $[[11/12 \ 5/12 \ 7/12]]$ ,  $[[11/12 \ 7/12 \ 5/12]]$ ,  $[[5/12 \ 7/12 \ 11/12]]$ ; Cl =  $[[5/12 \ 5/12 \ 5/12]]$ ,  $[[5/12 \ 1/12 \ 11/12]]$ ,  $[[7/12 \ 11/12 \ 1/12]]$ ,  $[[11/12 \ 11/12 \ 7/12]]$ .

Die O-Atome liegen trigyrisch um die Cl-Atome. Beispielsweise derart, daß die Koordinaten des einen Atomes heißen:  $[[1/2 \ 5/12 \ 11/36]]$ .

Ganz ähnlich verhält sich  $\text{NaBrO}_3$ .

**Caesiumdichlorojodid**  $\text{CsClJCl}$  ergab ein Rhomboeder  $\{0 \ 2 \ 2 \ 1\} = \{1 \ 1 \ 1\}$  als einfachstes Strukturhomoeder mit Cs in  $[[000]]$ , J in  $[[1/2 \ 1/2 \ 1/2]]$ , Cl in  $[[0,31, 0,31, 0,31]]$  und  $[[0,69, 0,69, 0,69]]$ .

$\text{NH}_4\text{J}$  ist in bezug auf die Schwerpunkte von N und J gleich gebaut wie Kochsalz, während andere Ammoniumhalogenide davon abweichen.

$\text{N(CH}_3)_4\text{J}$  ist vermutlich so gebaut, daß bei tetragonalem Elementarparallelepiped J die Punktlagen  $[[000]]$ ,  $[[1/2 \ 1/2 \ 0,192]]$  besetzt, N die Punktlagen  $[[0 \ 1/2 \ 0,596]]$ ,  $[[1/2 \ 0 \ 0,596]]$ . Die C-Atome sind bisphenoidisch um die N-Atome, die H-Atome vermutlich bisphenoidisch um die C-Atome gruppiert. Eine andere Deutung ist jedoch auch versucht worden.

Über die Größe der Elementarparallelepipede hat die 1. Tabelle Auskunft gegeben. Die Daten sind der „Zeitschrift für Kristallographie“ entnommen, die jeweiligen fortlaufend über Neubestimmungen referiert.

#### Physikalische und chemische Ergebnisse.

Hatte man unmittelbar vor 1912 den Kristall meist als Phase schlechthin, ohne Rücksicht auf seine innere Konstitution, behandelt (französische Forscher hatten indessen von jeher die Strukturprobleme in den Vordergrund gestellt), so änderte sich mit *Laues* großer Entdeckung der Standpunkt völlig. Die Umwälzung ist am besten daraus ersichtlich, daß von Physikern und Chemikern nicht selten der Meinung Ausdruck gegeben wird, erst jetzt sei die Kristallographie in den Rang einer wirklichen Wissenschaft erhoben worden. Dem kann nun allerdings nicht beigepflichtet werden. Das gleiche Jahr, das die zehnjährige Wiederkehr einer für sie sicherlich wichtigsten Entdeckung bringt, ist zugleich das 100. Jahr seit dem Tode jenes Mannes, der das oben genannte Verdienst voll und ganz in Anspruch nehmen darf: *R. J. Haüy*. Es gibt nicht eine der heute im Vordergrund stehenden Fragen, die nicht schon vorher, auch vom strukturellen Standpunkte aus, diskutiert und untersucht worden wäre. Alle in Angriff zu nehmen und in Angriff genommenen Probleme können, wenn es auch oft den Forschern nicht bewußt wird, von einem reichhaltigen und meist sorgfältig gesichteten Tatsachenmaterial ausgehen. Jedoch das meiste blieb interne Angelegenheit der Kristallographie. Die Unbestimmtheit der Strukturvorstellung nötigte zu außerordentlicher Vorsicht. Zudem, wie in der physikalischen Chemie zu Beginn des 20. Jahrhunderts eine gegen die atomistische Lehre gerichtete Strömung Fortschritte machte, so auch in der Kristallographie. Deshalb wurde *Laues* Entdeckung mit ihrer Aussicht, der nun endgültig bewiesenen Raumgitterstruktur mittels neuer Methoden auf den Leib rücken zu können, als wahre Erlösung empfunden. Aber auch die Physiker und Chemiker erkannten sehr bald, was der kürzlich verstorbene Göttinger Gelehrte *W. Voigt* in der Einleitung zu seiner großen



Kristallphysik schrieb: „daß die Musik der physikalischen Gesetzmäßigkeiten in keinem anderen Gebiet in so vollen und reichen Akkorden tönt, wie in der Kristallphysik“.

In der Tat, in Gasen und Flüssigkeiten sind die Massenteilchen, denen im Zeitalter der Atomphysik unser besonderes Interesse gilt, ungeordnet und wirr durcheinander gelagert. Ihre individuellen Eigenschaften kommen nur als Masseneffekt zur Geltung, insbesondere eventuell vorhandene Richtungsverschiedenheiten (*Anisotropieerscheinungen*) werden statistisch kompensiert. Ganz anders im Kristall. Die bestimmte, gesetzmäßige Anordnung ist, trotz der Temperaturbewegung, weit entfernt, die richtungsverschiedenen Effekte der Einzelteilchen zu verwischen, im Gegenteil, sie verstärkt sie zu meßbaren Größen. Das, allgemein gesprochen, vektorielle Verhalten kristallinischer Substanz (anisotropes Verhalten) ist geradezu bedingt durch die Art und Anordnung der Teilchen. Ein Studium dieser Phänomene gibt uns daher über die Natur von Einzelkräften Auskunft, die in enger Beziehung zur Konstitution der Materie stehen. Zudem, ein in seiner Struktur bekannter Kristall bietet genau definierte Verhältnisse der Feldwirkung; an ihm nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten zu forschen, erscheint daher besonders erfolgversprechend. Es ergeben sich so naturnotwendig die zwei Arbeitsrichtungen, die in der Jetztzeit ein gut Teil wissenschaftlicher Tätigkeit absorbieren. Man versucht die bereits bekannten kristallographischen, kristallphysikalischen und kristalchemischen Gesetzmäßigkeiten strukturell zu begründen, auf die Eigenschaften der Bauelemente und des Baues zurückzuführen. Neue Einblicke, neue Zusammenhänge werden uns so offenbar. Der Kristall ist aber auch das Versuchsobjekt par excellence geworden, das dazu dient, unsere modernen Anschauungen über die Konstitution der Materie zu prüfen und auszugestalten.

Es charakterisiert die Bedeutung der Laueschen Entdeckung, daß es bereits heute nach zehn Jahren unmöglich ist, in einem kurzen Überblick auch nur die wesentlichsten Resultate der durch sie angeregten Forschung darzustellen. Referate über Einzelgebiete, wie sie „Die Naturwissenschaften“ aus berufenen Federn je und je gebracht haben, müssen schon an dessen Stelle treten. So möchte ich mich darauf beschränken, einige im engeren Sinn kristallographische Problemstellungen zu erwähnen.

Aus den den Raumgittern zukommenden Dimensionsverhältnissen ergibt sich eine wichtige Konsequenz. Die den Kristall zusammenhaltenden Kräfte, die Kristallbindungskräfte, können nur solche sein, die auch sonst die Atome zu höheren Verbänden vereinigen. Nicht neue, in den Molekülen der flüssigen und gasförmigen Phase noch nicht enthaltene Kräfte sind bei der Kristallisation wirksam; die gleichen Kräfte, die

das Einzelmolekül formten, bauen nun in anderer Verteilung und mit anderer Wirkung den Kristall auf. Es ist des Chemikers ureigenes Forschungsgebiet, die Natur dieser Kraftäußerungen, die er Valenzen nennt, zu ergründen. Seinem Gebiet neu angegliedert hat sich die Kristallkunde. Oder um es noch deutlicher zu formulieren: wenn man folgerichtig sein will, muß man heute *drei große*, besonders auf organischem Gebiet durch Übergänge miteinander verbundene *Klassen von Verbindungen unterscheiden: die einfachen Verbindungen, die Koordinationsverbindungen und die Kristallverbindungen*. Wie die Nebervalenzen (der Name ist wohl das meist Anfechtbare von Werners bedeutungsvoller Theorie) der Koordinationsverbindungen nichts an sich Neues darstellen, sondern nur einen Ausdruck für die andersartige Wirkung und Verteilung des Kraftfeldes, so die Kristallbindungskräfte. Morphologisch ein und dasselbe Prinzip kommt in den drei Klassen zur Geltung. Die Atome und Ionen sind Bausteine für Gebilde höherer Ordnung, für einfache Verbindungen und Koordinationsverbindungen. Im kristallinen Bau erfährt das Prinzip der Bildung von Koordinationszentren seine vollkommene Ausgestaltung. Gewisse Teilchen wollen sich räumlich möglichst vollständig von anderen umgeben. Beschränkt sich diese Bestrebung auf Einzelzentren, so resultieren noch für sich bewegliche Moleküle; wird sie Allgemeinprinzip, so bilden sich Kristalle. Die Kristalle sind nicht Koordinationsverbindungen schlechthin, sie verhalten sich zu ihnen etwa so, wie diese zu den einfachen.

Macht man sich die hier skizzierte Betrachtungsweise zu eigen, so erhalten manche Probleme ein ganz anderes Aussehen, eine Reihe von einfachen Konsequenzen ergibt sich. Die zunächst am widerspruchsvollsten scheinende ist die folgende. Wenn der Chemiker eine Verbindung nachweisen will, so läßt er sie kristallisieren. In Wahrheit müßten wir sagen, er führt die im flüssigen oder gasförmigen Zustand vorhandene Verbindung in eine neue ihr koordinierte Kristallverbindung über. Es ist nicht so, daß seine Molekelart nun einfach kraft besonderer Gesetze unverändert den Kristall aufzubauen beginnt. Parallel mit der Einordnung ins Kristallgebäude geht, um mit den Chemikern zu sprechen, eine Neuordnung der Valenzen vor sich. Man wird einwenden können, daß eine solche Betrachtung die Grundlagen der präparativen Chemie erschüttere, denn die Existenz einer großen Zahl von Verbindungen ist in der Hauptsache durch Kristallisationsversuche „bewiesen“ worden. Zunächst kann man daraufhin antworten, daß auch sonst häufig die Überführung einer Verbindung in eine andere als Konstitutionsbeweis gilt. Dazu kommt folgendes. Der Kristall, als das im abiologischen Reich höchste morphologische Gebilde, bedarf zu seiner Entstehung zu-

meist gewisser Vorstufen. Diese Vorstufen sind aber nichts anderes als die Einzelmoleküle oder Ionen. Ihre besondere Konfiguration wird bis zu einem bestimmten Grad in den neuen Verbindungstypus hinübergerettet, bildet für ihn das Baumotiv und läßt sich als besonders hervortretende Baugruppe darin wiedererkennen. Die früher erwähnte Grothsche Ausdrucksweise, daß der Kristall aus ineinander gestellten Atomgittern bestehe, ist die Beschreibung einer *rein formalen* Eigenschaft. Beim Kristallisationsprozeß treten die Atome nicht aus ihren Verbänden, sondern bilden auf deren Grundlage ein Neues. Man hat daher zu versuchen, aus der Kristallstruktur den Prototyp der zugeordneten molekularen Verbindung herauszulesen und umgekehrt aus der molekularen Konstitution das mögliche zugehörige Kristallbild zu konstruieren. Für zwei Erscheinungen ist dies von ganz besonderer Wichtigkeit, für die *Polymorphie* und für das *Wachstum* und die *Auflösung der Kristalle*. Die Tatsache, daß ein- und derselbe Bauschalen-Chemismus verschiedenen Kristallarten zugrunde liegen kann, bedeutet, daß bei stöchiometrisch gleichem Verhältnis der Komponenten verschiedene Kristallverbindungstypen resultieren können. Manchmal unterscheiden sich diese nur sehr wenig voneinander, bei der Modifikationsänderung bleibt die Kristallgestalt als Ganzes erhalten. Es handelt sich dann um kleine innerstrukturelle Änderungen, die sich als notwendige Anpassung im Grunde genommen ein- und desselben Bautypus an neue Temperatur- und Druckbedingungen ergeben. Häufig findet man, daß Temperatursteigerung eine erhöhte Symmetriewirkung zuläßt, daß gewissermaßen Hemmungen, die bei tieferen Temperaturen die mit dem Bauplan an sich verträgliche höchste Symmetriewirkung nicht ermöglichten, bei intensiverer Wärmebewegung plötzlich verschwinden. Besonders Verbindungen bestimmter Atomarten zeigen diese Erscheinung, so daß mit der Umwandlung wohl innerkonstitutionelle Atomänderungen im Zusammenhang stehen. Eine systematische Untersuchung derartiger Modifikationsänderungen kann somit wichtige Anhaltspunkte über den Atombau geben.

Allerdings müssen wir berücksichtigen, daß der Begriff Atom nun seine Eindeutigkeit eingebüßt hat. Die *Pluralität der Atomzustände* tritt in der Kristallstruktur deutlich hervor. Die gleiche chemische Atomart wird in Abhängigkeit von dem sie umgebenden Feld etwas verschieden gebaut sein müssen, selbstverständlich bei im Großen gleichem Typus.

Dieser schwachen Polymorphie steht eine starke gegenüber, welche Modifikationen umfaßt, die *verschiedene Baustile* verwirklichen. Naturgemäß wird man auch zwischen ihnen Beziehungen auffinden können, wie etwa zwischen Rutil und Anatas, aber es wird sich doch in manchen Fällen jeder dieser Typen verschiedenen molekularen Vorstufen, seien sie nun polymer oder iso-

mer zueinander, koordinieren lassen. Die Entstehung der einen oder anderen Modifikation ist dann weitgehend von der Konstitution der Mutterlösungen abhängig. Jedem Bautypus kommt auch im instabilen Gebiet eine gewisse Haltbarkeit zu, so daß die Stabilitätsbeziehungen für die Frage nach der Genesis nur von untergeordneter Bedeutung werden.

Wohl kein Gebiet der Kristallographie hat zu gewissen Zeiten bei den anderen Disziplinen so wenig Anklang und Verständnis gefunden, wie das der beschreibenden Kristallkunde. Die Mannigfaltigkeit der Formentwicklung der einzelnen Mineralien wirkte abschreckend, und, da oft die Darbietung des Tatsachenmaterials ohne Berücksichtigung höherer Gesichtspunkte erfolgte, blieb die Mitarbeit aus. Heute ist das gründlich anders geworden. Die *Kristallmorphologie* gehört zum Reizvollsten, was dem angehenden Naturforscher, gleich welcher Richtung, geboten werden kann. Der Biologe wird für seine morphologische Betrachtungsweise reichen Gewinn davontragen, den Mathematiker wird es interessieren, wie auf Grund einer einzigen Annahme alle möglichen Symmetrieverhältnisse abgeleitet werden können, der Chemiker und Physiker lernt erkennen, daß die Wachstumsformen der Kristalle in enger Relation zu ihrer Struktur stehen. Der besondere Charakter der Kristallverbindungen bedingt, daß sie nach außen nie abgesättigt sind, daß ein Kristall unbegrenzt wachsen kann. Der Charakter der *Grenzschichten*, oder mit einem noch treffenderen Wort bezeichnet „*Übergangsschichten*“, ist jedoch abhängig von der Gesamtstruktur und der speziellen Lage zu deren Hauptlinien. Als Wachstumsflächen stellen sich ganz bestimmte, von Struktur zu Struktur wechselnde Ebenen ein. Auch die dem Wachstum reziproken Auflösungserscheinungen sind von artcharakteristischem und vektoriellem Verhalten. Wachstum und Auflösung entsprechen aber, nach unserer Auffassung, Bildung beziehungsweise Abbau eines Verbindungstypus, sind also in diesem Sinne chemische Vorgänge. Für sie trifft *Kohlschüters* Bezeichnung *Topochemie* ganz besonders zu. Es hängt innig mit der Struktur des Rutiles zusammen, daß diese Modifikation von  $\text{TiO}_2$  gern säulig entwickelt ist, mit reicher Flächenentwicklung in der Zone der *c*-Achse, und es entspricht dem geänderten Bauplan in Anatas, daß hier nun besonders die Zone der Bipyramiden erster Stellung hervortritt. Wenn auch die diesbezüglichen Erörterungen noch nicht veröffentlicht sind, glaubt der Verfasser doch sagen zu dürfen, daß bis zu einem bestimmten Grade aus der Wachstumsentwicklung die Struktur sich voraussagen lasse und umgekehrt. Die charakteristische Kristallgestalt bietet uns also ein nicht leicht, aber eben doch deutbares Abbild der Kristallkonstitution. Wer sich dessen bewußt ist, wird den Einzelkristall mit ganz anderen Augen anschauen. Zunächst scheint zwar dieser Dar-



stellung zu widersprechen, daß der Kristallhabitus für ein- und dieselbe Mineralart ein wechselnder ist, in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Mutterlauge. Diese Erscheinung gestaltet jedoch das Problem nur noch interessanter. Es ist selbstverständlich, daß bei der Bildung oder der Zerstörung der Kristalle nicht nur der Kristall, sondern auch das Agens in Betracht zu ziehen sind. Beim Aufbau wird wiederum die Natur dessen, was wir als Vorstufen bezeichnet haben, für den Ablauf des Wachstumsprozesses maßgebend sein. Das Studium der Habitusverhältnisse gestattet daher auch darüber etwas auszusagen.

Da jeder Kristall als Verbindung in der Molekülgröße unbestimmt ist, bleibt natürlich auch die Auffassung als dem gasförmigen und flüssigen Zustand gleichberechtigte Phase bestehen. In dieser dem kristallisierten Aggregatzustand eigentümlichen Zweifelt ist geradezu ihr Wesentliches enthalten. Deutlich wird uns dies bei Betrachtung der *Isomorphieerscheinungen*. Die van't Hoff'sche Auffassung der Mischkristalle als feste Lösungen ist durchaus nicht für die Mehrzahl der Fälle zutreffend. Eher ist bei manchen Mischkristallbildungen die Verwandtschaft mit dem in der Chemie als *Substitution* bekannten Vorgang in den Vordergrund zu stellen. *M. von Laue* hat übrigens selbst zu diesen Fragen das Wort ergriffen, und wie fruchtbar die neue Betrachtungsart sein kann, zeigen Erörterungen von *Tammann* und *Vegard*. Ein Beispiel gibt so recht über die Verfeinerung kristallographischer Forschungsmethoden Auskunft. Schon lange ist bekannt, daß bestimmte bei höherer Temperatur mögliche Mischungen der Alkalifeldspate bei tieferen Temperaturen sich entmischen. Es entsteht dann ein Gemenge von Natron- und Kalifeldspat, das in der Petrographie unter dem Namen *Perthit* bekannt ist. Nun gibt es noch vollkommen homogen erscheinende Feldspate, die einen eigentümlichen Schein, den sogenannten *Mondschein*, aufweisen, eine Interferenzerscheinung, die auf irgendwie anomalen Bau hinweist. Es scheint nun dem Japaner *Kôzu* gelungen zu sein, röntgenometrisch darzutun, daß diese Adularmondsteine bereits aus zweierlei Raumgittern bestehen, und daß die beginnende, mit den übrigen

Methoden noch nicht nachweisbare Entmischung für die besonderen optischen Verhältnisse verantwortlich ist. Überhaupt zeigt uns ja die genauere Untersuchung immer mehr, daß Störungen im Kristallbau häufig sind, eine eigentliche „Pathologie der Kristalle“ beginnt sich zu entwickeln.

Soll ich nun noch davon sprechen, daß die sehr im Argen liegende Festigkeitslehre der Kristalle von der konsequent durchgeführten Annahme, daß die Kristallbindungskräfte elektrischer Natur sind, eine rationelle theoretische Grundlage zu bekommen hofft, und daß Arbeiten von *Born*, *Landé*, *Madelung* und anderen in dieser Richtung bereits schöne Resultate ergeben haben. Soll ich noch von den vorzugsweise mit den Namen *Ewald* und *Born* verknüpften Versuchen, die Kristalloptik strukturell zu begründen, erzählen oder den mathematisch nicht leichten Berechnungen der Gitterpotentiale? Soll ich mitteilen, wie die Gittermechanik uns Modifikationsänderungen, Gleitungen, Zwillingsbildungen verständlich werden läßt, wie die Symmetrien der Kristalle von den Baugruppensymmetrien abhängen, oder wie der Begriff der Löslichkeit eine neue Bedeutung erhält? Es würde den Rahmen dieses Aufsatzes weit übersteigen und scheint mir für den vorliegenden Zweck auch nicht nötig zu sein. Daß durch *Laue's* Entdeckung die Kristallographie nicht nur eine neue Methode erhalten hat, sondern eine Neu belebung in fast allen Gebieten aufweist, wird durch die vorstehenden Erörterungen deutlich geworden sein. Vor allem freut es uns Mineralogen, daß die Nachbarwissenschaften dem Kristall ein ganz anderes Interesse darbringen, als wie vor kurzem noch, denn nur Zusammenarbeit aller kann die weitere Forschung in richtige Bahnen leiten.

Wer sich über die neuen Strömungen innerhalb der Kristallographie weiter orientieren will, der möge das, trotz mancher Fremdbezeichnungen, populär geschriebene kleine Büchlein von *F. Rinne*, „Die Kristalle als Vorbilder des feingebaulichen Wesens der Materie“, oder des Verfassers „Lehrbuch der Mineralogie“ zur Hand nehmen. Noch besser allerdings wird es sein, wenn er sich die Mühe des Studiums der Originalabhandlungen nicht verdrießen läßt.

## Beiträge zur Auswertung der Laue-Diagramme.

Von E. Schiebold, Leipzig.

Die Bedeutung *M. v. Laue's* fundamentaler Entdeckung für die Mineralogie und Kristallographie ist in dieser Zeitschrift schon mehrfach von berufener Seite gewürdigt worden (1, 2). Der geniale Gedanke, das hypothetische Raumgitter der Kristallographen als in der Natur in der erforderlichen Feinheit schon fertig vorliegendes

Beugungsgitter für die Röntgenstrahlen zu benutzen, führte zu dem klassischen Versuch von *W. Friedrich* und *P. Knipping* (3). Sein Gelingen eröffnete ein weites und gewaltiges Forschungsfeld, dessen Bearbeitung in den vergangenen zehn Jahren eine erstaunliche Fülle ungeahnter Ergebnisse gezeitigt hat. Die Versuchsanordnung

war höchst einfach. Ein ausgeblendetes feines Bündel von Röntgenstrahlen fällt auf einen Kristall, der auf dem Schlitten eines Spektrometers befestigt ist, und trifft nach dem Durchgang durch den Kristall eine dahinter senkrecht aufgestellte photographische Platte im Primärfleck. Die durch Beugung im Kristall entstandenen „Sekundärstrahlen“ werden beim Auftreffen auf die photographische Platte in Form länglicher Schwärzungsflecke registriert (s. Fig. 1). Das ganze Beugungsmuster wird als ein „Lauediagramm“ bezeichnet, da es bei einer Durchleuch-

Kristall einer selektiven Spiegelung des Primärstrahles an den Netzebenen gleichzusetzen ist, sind die Zahlen  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  bis auf einen konstanten Faktor mit den Millerschen Indizes der Netzebenen identisch (4).

Das Lauediagramm gestattet somit, aus der Lage der Interferenzpunkte die Millerschen Indizes  $h$ ,  $k$ ,  $l$  der zugehörigen Netzebenen zu ermitteln und hierdurch mannigfache Rückschlüsse auf die Art des zugrunde liegenden Gitters zu ziehen. Freilich haben sich die diesbezüglichen Erwartungen trotz des weiteren Ausbaues der Me-

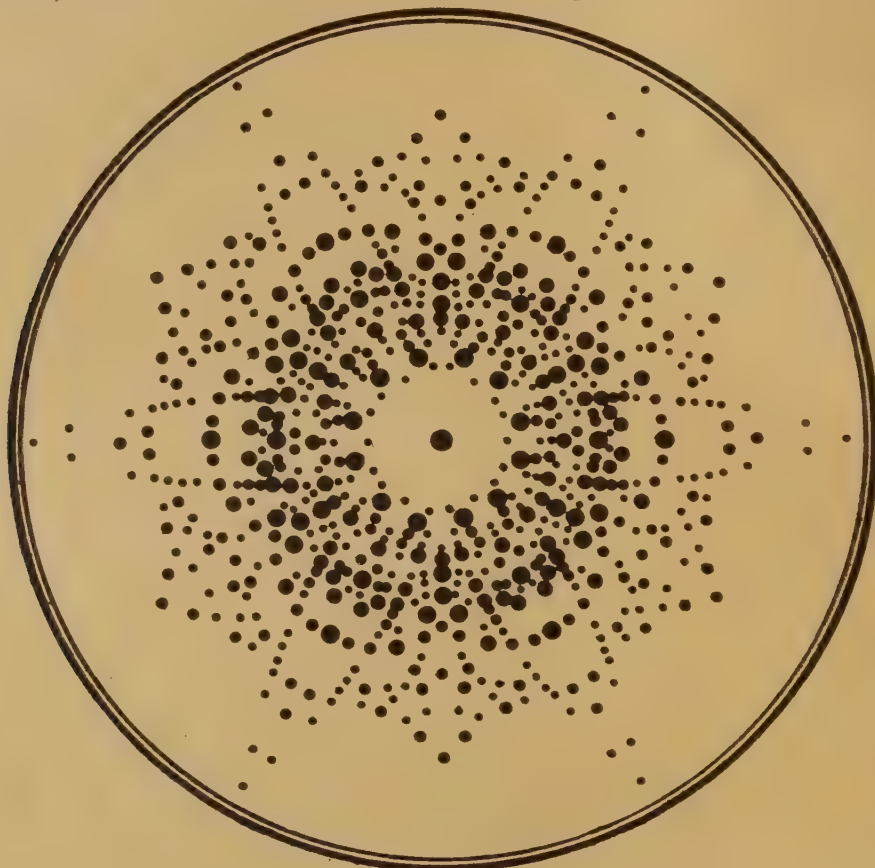


Fig. 1. Laue-Diagramm von Beryll (nach F. Rinne).

tung des Kristalles zustande kommt. Die quantitative Erklärung gelang v. Laue in einer gleichzeitigen theoretischen Arbeit (3) auf Grund der Auffassung des Beugungsvorganges als Interferenzerscheinung. Durch das Zusammenwirken der einzelnen Kugelwellen, welche von den Dipolen in den Ecken des Raumgitters unter der Anregung der Primärstrahlung ausgesandt werden, entstehen Interferenzmaxima, deren Lage gegenüber dem einfallenden Strahl durch drei Gleichungen bestimmt ist, in denen die drei ganzzahligen Laueschen Ordnungszahlen  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  eine bedeutsame Rolle spielen.

Die Laueschen Zahlen haben eine anschauliche geometrische Bedeutung, die ihnen zuerst von W. H. und W. L. Bragg gegeben wurde. Da der Vorgang der Beugung der Röntgenstrahlen im

thode durch v. Laue (5), Debye (6), Ewald (7), Glocker (8), Schiebold (9) nicht in dem ursprünglich erhofften Maße erfüllt. Es liegt dies daran, daß trotz der Einfachheit der Methode infolge der Verwendung eines kontinuierlichen Spektrums und der damit verbundenen Unkenntnis der wirkenden Wellenlänge die quantitative Auswertung in kristallstruktureller Hinsicht äußerst mühevoll und zeitraubend ist. Sie wird durch die in der Folgezeit von W. H. Bragg und W. L. Bragg (10), sowie P. Debye und P. Scherrer (11) aufgefundenen Verfahren unter Verwendung monochromatischen Röntgenlichts in der bequemen Anwendung weit übertroffen.

Indessen ist die Bedeutung des Laueverfahrens für die Kristallographie hierdurch keineswegs geschmälert, da eine große Anzahl Fragen, die den



Mineralogen interessieren, leicht und bequem mit ihrer Hilfe beantwortet werden können. So läßt sich an Hand eines Lauediagrammes auch bei unvollkommener oder gänzlich fehlender Ausbildung von Kristallflächen eine goniometrische Untersuchung ausführen, die zur Kennzeichnung der Substanz führt. Andererseits ist es bekannt, daß die Bragg'sche sowie die Debye-Scherrer-Methode erst nach der quantitativen Auswertung das Kristallsystem erkennen läßt, während man aus dem Lauediagramm bei kristallisierten Substanzen mit einem Blick die Symmetrieverhältnisse übersehen kann. Ferner erlaubt die große Zahl der auftretenden Netzebenen statistische Gesetzmäßigkeiten der Flächenanlage, die in der Struktur des Kristalles begründet sind, besser und klarer zu erkennen, als das Studium der entsprechenden Wachstumsflächen, da es losgelöst ist von den theoretisch noch vollkommen ungeklärten Verhältnissen beim Kristallwachstum, dem Einfluß der Lösungsgenossen und der übrigen physikalisch-chemischen Faktoren. Schließlich sei darauf hingewiesen, welche wertvolle Hilfe die Verwendung von Lauediagrammen zur Ergänzung und Verfeinerung der anderweitigen Methoden der Strukturbestimmung und zur Nachprüfung der Ergebnisse leistet, wenn bestimmte Vorsichtsmaßregeln beachtet werden.

Die Verwendung der Lauediagramme ist nicht auf allseitig gut ausgebildete Kristalle beschränkt. Auch tafelige Gebilde wie Glimmer, Bruzit oder säulige bzw. stengelige Kristalle lassen sich mit Hilfe eines Drehapparates in verschiedenen Richtungen durchleuchten und auf ihre Symmetrieverhältnisse untersuchen. Die große Intensität der modernen Röntgenröhren ermöglicht es weiterhin, mit sehr fein ausgeblendeten Primärstrahlbündeln zu arbeiten, wodurch das Untersuchungsgebiet auch auf mikroskopisch kleine Kriställchen, Metalldrähte und sonstige kristalline Aggregate sowie auf die gesetzmäßigen Verwachsungen und Zwillingsbildungen der Kristalle ausgedehnt werden kann.

Es sei erwähnt, daß auch physikalische Umstände sich im Lauediagramm oft höchst anschaulich kundgeben. So z. B. die Zunahme der inneren Beweglichkeit der Beugungszentren im Kristall, die sich in einer Schwächung der Intensität der Interferenzpunkte äußert, wie *M. v. Laue* und *Stephan van der Linde* zuerst am Steinsalz gezeigt haben. Ebenso wurden Lauediagramme zum Nachweis sprunghafter Änderungen in der Kristallstruktur (Modifikationswechsel) bei Erhitzung oder Abkühlung des Kristallpräparates mit Erfolg verwendet. Von *F. Rinne* sind diesbezügliche Diagramme von Quarz veröffentlicht worden, die den Umschlag  $\beta$ -Quarz (trigonal)  $\rightarrow$   $\alpha$ -Quarz (hexagonal) durch ihre Symmetrie mit einem Blick erkennen lassen.

Eine weitere Möglichkeit der Verwendung der Lauediagramme bietet sich bei metallographischen

Untersuchungen dar. Hier dürfte neben der Debye-Scherrer-Methode (*Herzog, Janke, Polanyi* u. a.) auch die Lauemethode beim Studium des Einflusses der Kaltbearbeitung auf die Strukturverhältnisse und Anordnung der Kristalle, wie es z. T. schon geschehen ist, manche wertvollen Aufschlüsse geben.

Es erscheint daher dem Verfasser in Anbetracht dieser Umstände nicht unangebracht, in den vorliegenden Zeilen die Lauediagramme dem Verständnis auch weiterer Kreise nahezubringen und einen Beitrag zu ihrer kristallographischen Auswertung zu liefern. Auf die Verwendung zur Strukturbestimmung kann allerdings wegen des beschränkten Raumes an dieser Stelle nicht eingegangen werden.

### Die Herstellung der Lauediagramme.

Die Methodik bei der Herstellung der Lauediagramme hat, schon infolge der außerordentlichen Entwicklung, die die Röntgenröhren im Lauf der letzten zehn Jahre genommen haben (12), mannigfache Abänderungen erfahren. Im Prin-

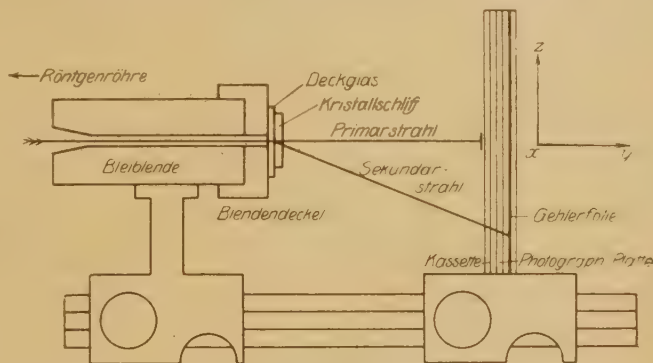


Fig. 2. Apparat zur Aufnahme von Laue-Diagrammen (schematisch).

zipie gehen alle Anordnungen auf die ursprüngliche oben geschilderte Apparatur von *Laue, Friedrich* und *Knipping* zurück (3). Die Entwicklung zielt auf leichte und bequeme Justierung des Kristallpräparates und der photographischen Platte, auf möglichst guten Schutz gegen zerstreute Strahlung, auf möglichste Kompaktheit der kristallographischen Apparatur und schließlich auf eine Kürzung der Belichtungszeit unter möglichst guter Ausnutzung der Röhre. Entsprechende Apparaturen wurden vorgeschlagen von *Wulff* (13), *Rinne* (14), *Seemann* (15), *Hadding* (16), *Wyckoff* (17) u. a., worauf indessen nicht näher eingegangen werden kann. Der Verfasser arbeitet im Leipziger Mineralogischen Institut mit einer Apparatur, die schematisch durch Fig. 2 dargestellt ist. Der Strahlengang ist aus der Figur ohne weiteres ersichtlich. Als Röntgenröhre wird eine Lilienfeldröhre mit horizontal gestellter Wolframantikathode benutzt. Hierdurch wird es möglich, rings um den Schutzkasten eine Reihe gleichartiger Apparaturen in gleicher Entfernung

aufzustellen, deren optische Achsen sämtlich unter dem gleichen Winkel von ca.  $20^\circ$  gegen die Horizontale auf die Mitte des Brennflecks eingestellt sind. Das Kristallmaterial wird in Form planparalleler Schiffe verwendet, die mit Kanadabalsam auf ein dünnes Deckgläschen (ca. 0,15 mm) plan aufgekittet werden. Die Bleibende besitzt einen ebenen, sorgfältig senkrecht zur Strahlenachse geschliffenen abnehmbaren Deckel. Auf diesem wird das Deckglas mit Klebwachs möglichst plan aufgelegt, und unter dem Mikroskop die zu durchleuchtende Stelle des Präparates auf ihre Güte geprüft und zugleich optisch in bezug auf eine auf der Blende befindliche Marke orientiert. Die photographische Platte wird mit der Glasseite nach vorn den Strahlen ausgesetzt, ihre Schicht ist von einer Gehlerfolie bedeckt, die zur Abkürzung der Belichtungszeit wesentlich beiträgt. Auf dem dem Kristall zugekehrten Pappdeckel der Kassette ist zur Vermeidung der Überstrahlung des Primärfleckes infolge seiner vielmal größeren Intensität ein dünnes Bleiplättchen an geeigneter Stelle angebracht.

Da die Sekundärstrahlen bei der Laueschen Methode den Kristall durchsetzen, ist es im Interesse einer gleichmäßigen Absorption angezeigt, möglichst planparallele Kristallplatten zu verwenden. Wenn nicht unmittelbar natürliche Kristallflächen oder Spaltblättchen verwendet werden können, müssen die gewünschten Ebenen, zu denen senkrecht die Durchstrahlung erfolgen soll, künstlich angeschliffen werden. Dies geschieht am besten mit Hilfe eines Wülfingischen Schleifapparates, der eine Genauigkeit bis ca.  $1-2'$  zuläßt. Die Schlifffdicke richtet sich nach dem mittleren Absorptionskoeffizienten des Kristallpräparates in der Durchstrahlungsrichtung für das wirksame Wellenlängenintervall von 0,15 bis 0,50 Å des kontinuierlichen Spektrums. Nach *R. Groß* (18) sowie *G. Friedel* (19) ist die günstigste Schlifffdicke umgekehrt proportional dem Absorptionskoeffizienten. So fand sich bei Wolframdraht eine Dicke von 60  $\mu$ , bei Phosgenit von ca. 200  $\mu$  (nach *R. Anders* (20)), während bei leicht durchlässigen Substanzen, wie Eis, Kampfer, Rohrzucker und anderen organischen Substanzen eine beträchtliche Dicke bis ca. 0,8 cm angezeigt erscheint.

#### Einige kristallographische Grundlagen.

An Hand des in Fig. 3 gezeichneten Feldspatkrystalles mögen die wichtigsten zum Verständnis der späteren Ableitungen notwendigen Begriffe kurz erläutert werden. Die Flächen des Kristalles lassen sich auf ein monoklines Achsenkreuz (Figur rechts daneben) beziehen. Der Winkel  $\beta$  mißt  $116^\circ 7'$ . Die Fläche  $O$  ( $11\bar{1}$ ) als Einheitsfläche gewählt, schneidet auf den Achsen die Einheitsstrecken  $a$ ,  $b$ ,  $c'$  ab. Dann besagt bekanntlich das Parametergesetz von *Haüy*, daß jede andere Kristallfläche auf den Achsen Strecken ab-

schneidet, die ein einfaches rationales Vielfaches oder ein rationaler Bruchteil der Einheitsparameter  $a$ ,  $b$ ,  $c$  sind. Die gezeichneten Kristallflächen haben folgende Achsenschnitte  $P(\infty a : \infty b : c)$ ,  $M(\infty a : b : \infty c)$ ,  $a(a : \infty b : \infty c)$ ,  $T(a : b : \infty c)$ ,  $T'(a : b' : \infty c)$ ,  $0(a : b : c')$ ,  $x(a : \infty b : c')$ ,  $y(\frac{1}{2}a : \infty b : c')$ . Üblicher ist die Bezeichnung der Kristallflächen durch Indizes, das sind die reziproken Werte der Achsenschnitte. Das allgemeine Symbol einer Fläche heißt  $(hkl)$ . Wird eine Achse  $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$  geschnitten, so ist der betreffende Index negativ. Obengenannte Flächen erhalten die Symbole  $P(001)$ ,  $M(010)$ ,  $a(100)$ ,  $T(110)$ ,  $T'(\bar{1}\bar{1}0)$ ,  $O(11\bar{1})$ ,  $x(10\bar{1})$ ,  $y(201)$ . Da die makroskopischen Kristallflächen den entsprechenden Netzebenen des Raumgitters parallel liegen, kann man natürlich ebensogut von den Indizes einer Netz-(Gitter-) Ebene sprechen. Die Kristallflächen

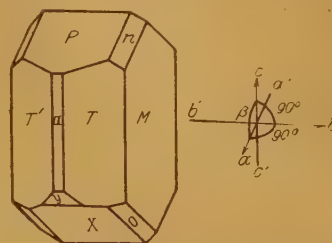


Fig. 3. Kristallform und Achsenkreuz eines monoklinen Feldspates (Adular).

schneiden sich in Kanten. Liegen mehr als zwei Flächen einer Kante parallel, so spricht man von einer Zone. Die gemeinsame Kante heißt die Zonenachse. Ihr kristallographisches Symbol ist  $[uvw]$ . So liegen die Flächen  $M$ ,  $n$ ,  $P$  usw. in der Zone der  $a$ -Achse  $[100]$ , die Flächen  $M$ ,  $T$ ,  $a$ ,  $T'$  usw. in der Zone der  $c$ -Achse  $[001]$ , die Flächen  $P$ ,  $a$ ,  $y$ ,  $x$  in der Zone der  $b$ -Achse  $[010]$ . Ebenso bilden die Flächen  $M$ ,  $O$ ,  $x$  usw. eine Zone mit der Zonenachse  $[101]$ .

#### Die Deutung der Lauediagramme.

Die Aufgabe der quantitativen Auswertung der Lauediagramme wurde schon von *M. v. Laue* in seiner grundlegenden Abhandlung: Eine quantitative Prüfung der Theorie für die Interferenzerscheinungen bei Röntgenstrahlen (22), wenigstens für den speziellen Fall des isometrischen Systems gelöst. Ihrer historischen Bedeutung wegen sei die Methode kurz angegeben: Die Durchstrahlung erfolge in Richtung einer vierzähligen Achse. Ist  $a$  die Kantenlänge des Elementarwürfels,  $\lambda$  die Wellenlänge eines in der Richtung  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  abgelenkten Sekundärstrahles, wobei  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  seine Richtcosinus mit den Kristallachsen bedeuten, so reduzieren sich die allgemeinen Grundbedingungen für das Auftreten eines Interferenzmaximums zu:

$$a \alpha = h_1 \frac{\lambda}{a} \quad b \beta = h_2 \frac{\lambda}{b} \quad c \gamma = h_3 \frac{\lambda}{c}$$

wenn die Durchstrahlung in der  $z$ -Achse des zugelegten Koordinatensystems erfolgt. Für



die Laueschen Zahlen (Indizes)  $h_1, h_2, h_3$  ergibt sich die Proportion:

$$h_1 : h_2 : h_3 = \alpha : \beta : (1 - \gamma)$$

Da zwischen den Richtcosinus  $\alpha, \beta, \gamma$  und den rechtwinkligen Raumkoordinaten eines Interferenzpunktes auf der im Abstände  $R$  senkrecht zum Primärstrahl gestellten photographischen Platte die Beziehung besteht:

$$x = \alpha \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad y = \beta \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$z = \gamma \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

so erhält man, da  $z = R$  ist:

$$h_1 : h_2 : h_3 = \alpha : \beta : (1 - \gamma) = x : y : (\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} - R)$$

Die Koordinaten  $x, y$  lassen sich im Diagramm unmittelbar durch Messung finden. Z. B. ergibt sich für den Punkt  $x = 23,6$  mm,  $y = 7,9$  mm auf dem von Laue untersuchten Zinkblendediagramm nach (001), wobei  $R = 3,56$  cm betrug:

$$h_1 : h_2 : h_3 = 23,6 : 7,9 : 7,8 = 2,99 : 1 : 0,99 = 311$$

In der Folgezeit wurde durch M. v. Laue selbst sowie durch Bragg, Ewald, Friedrich, Glocker, Wulff, Rinne und den Verfasser die kristallographische Auswertung weiter entwickelt, so daß sich im Laufe der Zeit eine eigene Methodik herausgebildet hat, die im folgenden in ihren Grundzügen geschildert werden soll. Die Auswertung kann erfolgen 1. auf rein graphischem Wege mit Hilfe von kristallographischen Projektionsmethoden, 2. auf rechnerischem Wege mit Hilfe von allgemeinen Formeln zur Indizesbestimmung, 3. durch Kombination von 1 und 2, was oft aus Zweckmäßigkeitsgründen vorzuziehen ist.

#### Allgemeines zur Auswertung der Diagramme.

a) *Orientierung der Schlicke.* Wir legen ein festes rechtwinkliges Koordinatensystem zugrunde. Die  $y$ -Achse sei die Richtung des Primärstrahles Antikathode—Kristall—phot. Platte, die  $z$ -Achse stehe auf ihr in der Vertikalebene senkrecht, die  $x$ -Achse sei nach links gerichtet, wenn wir dem Primärstrahl entgegensehen, so daß ein (+) rechtwinkliges System entsteht (s. Fig. 2). Der Kristallschliff wird so auf der Blende befestigt, daß die positive Normalenrichtung seiner Begrenzungsfläche (in kristallographischem Sinne) dem Primärstrahl entgegen gerichtet ist. In seiner Ebene wird der Schliff durch Drehung auf der Blende evtl. unter dem Mikroskop so orientiert, daß eine bestimmte Richtung, etwa eine Kristallkante, Zone, Zwillingsstreifung, Auslöschungsrichtung u. dgl. in dieser Ebene mit einer Marke am Blendenrand übereinstimmt, so daß sie nach Befestigung der Blende parallel zur Vertikalachse  $z$  steht.

b) *Orientierung des Lauediagrammes.* Da die Ebene des Lauediagrammes parallel zur  $xz$ -Ebene liegt, ist ein rechtwinkliges Koordinatensystem in der Platte durch die Spurlinien der  $yx$ - ( $x'$ -) und  $yz$ - ( $z'$ -) Ebenen gegeben. Die positiven Richtungen gehen der  $+x$ - bzw.  $+z$ -

Achse parallel. Als Nullpunkt dient der Mittelpunkt des Primärstrahleinstiches. In dem Lauediagramm Fig. 4 sind die Koordinatenachsen eingezeichnet. Die Orientierung des Diagramms in bezug auf die kristallographischen Achsen erfolgt mit Hilfe der oben genannten Orientierungsrichtung. Da als solche meist eine Kristallzone, also eine netzdichte Gitterlinie benutzt wird, der auch die Aufnahme fläche angehört, entspricht ihr im Diagramm eine mit Interferenzpunkten dicht besetzte radiale Gerade in Richtung der  $z$ -Achse. Wie die Figur zeigt, ist jeder Interferenzpunkt eindeutig festgelegt durch seine rechtwinkligen Koordinaten  $x', z'$  oder durch Polarkoordinaten  $r$  und  $\varphi$ . Aus der Figur geht

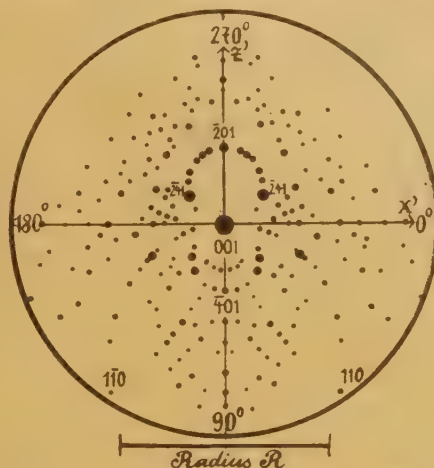


Fig. 4. Laue-Diagramm von Adular nach 001.

hervor, daß zwischen den Koordinaten eines Punktes die Beziehung besteht:

$$x' = r \cos \varphi = R \operatorname{tg} 2\alpha \cos \varphi;$$

$$z' = r \sin \varphi = R \operatorname{tg} 2\alpha \sin \varphi,$$

wobei  $\alpha$  der Glanzwinkel,  $R$  der wirksame Abstand (s. u.!) ist. Glanzwinkel und Azimut lassen sich daher durch Messung der Koordinaten  $x'$  und  $z'$  leicht

berechnen (Aus  $\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{\sqrt{x'^2 + z'^2}}{R} = \frac{r}{R}; \operatorname{tg} \varphi = \frac{z'}{x'}$ .)

Einfacher ist die Benutzung der Polarkoordinaten, die sehr genau mit Hilfe eines Zyklometers gemessen werden können. Am bequemsten und zur eindeutigen Bestimmung der Indizes völlig ausreichend ist die direkte Ablesung von Glanzwinkel und Azimut mittels des von F. Rinne (14) und vom Verfasser (9) angegebenen Winkelnetzes der Reflexprojektion (1915, Fig. 5). Es enthält die konzentrischen Kreise  $\alpha = \text{konst.}$  und ein Geradenbüschel  $\varphi = \text{konst.}$  und erlaubt eine Genauigkeit der Ablesung: bei  $\alpha$  von ca. 5', bei  $\varphi$  von ca. 15'.

c) *Der wirksame Radius R.* Zur Deutung der Lauediagramme ist die genaue Kenntnis des Abstandes Kristall—photographische Platte unerlässlich. Genauer präzisiert sei der Abstand  $R_0$  als Entfernung der Berührungsstelle des Kristallschliffes mit dem Deckglas von der Schicht der photographischen Platte.

Für einen Kristall von molekularer Dicke wäre  $R$  eine Konstante, für einen endlichen Kristall ist dies nicht mehr der Fall. Der Primärstrahl erzeugt nämlich nicht nur in der untersten Schicht Sekundärstrahlen, sondern längs seines ganzen Weges im Kristall, wenigstens bei geringer Absorption. Als wirksamer Abstand kann somit die Entfernung jedes wirksamen Querschnittes von der photographischen Platte gelten. Durch die Überlagerung aller Bilder entsteht der ausgedehnte Interferenzfleck. Mißt man stets von der (geschätzten) Mitte des Fleckes aus, dann zeigt eine einfache geometrische Betrachtung,

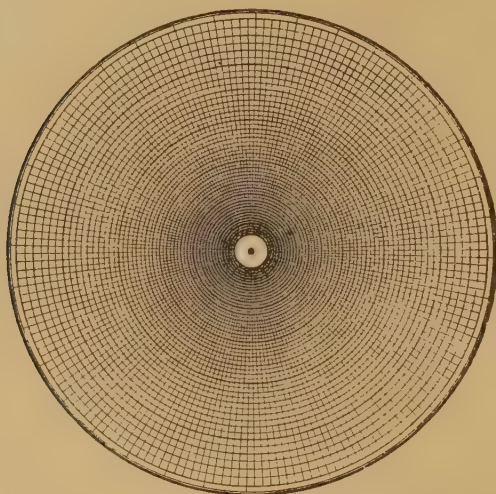


Fig. 5. Winkelnetz der Reflexprojektion ( $\frac{1}{2}$  nat. Größe,  $R = 27$  mm).

daß im Falle paralleler Primärstrahlung von dem Abstand  $R_0$  die halbe Dicke des Schliffes abziehen ist (1), um den korrigierten Abstand  $R_d = \left(R_0 - \frac{1}{2} d\right)$  zu erhalten. Bei divergenter Primärstrahlung ist die Größe  $\frac{1}{2} \cdot \frac{1 + \tan \delta}{1 + 2 \tan \alpha}$  vom Abstand  $R_0$  abziehen.  $\delta$  ist der Divergenzwinkel,  $\alpha$  der Glanzwinkel. Mit wachsendem Glanzwinkel wird die Korrektur immer kleiner. Die Erfahrung bestätigt die Richtigkeit der Formel.

#### Die graphische Deutung der Lauediagramme.

a) *Die Reflexprojektion* (23). Rein geometrisch kann das Lauediagramm als eine besondere Art der kristallographischen Projektionen betrachtet werden. Gleichwie bei der gnomonischen und stereographischen Projektion ist sie eine Punktprojektion, d. h. die Kristallebenen werden durch Punkte, die Interferenzpunkte abgebildet. Dabei werden die kristallographischen Zonen als durchbrochene Kegelschnitte (s. Fig. 1 und 4) wiedergegeben. Jeder Ebene, die in zwei oder mehr Zonen liegt, entspricht ein Punkt, der zwei oder mehr Kegelschnitten angehört. Die Kegelschnitte gehen stets durch den Nullpunkt (Primärfleck). Die Ebenen in der Zone der Durchstrahlungsrichtung spiegeln na-

türlich nicht, ihre Reflexe (Nullmaxima) liegen im Primärfleck. Als Zonen können auch gerade Linien auftreten, sie entsprechen Zonenachsen, die auf dem Primärstrahl senkrecht stehen.

b) *Die gnomonische Projektion* (24). Die gnomonische Projektion ist eine Punktprojektion. Man erhält sie, wenn man vom Kristallmittelpunkt Lote auf die Kristallflächen fällt und ihre Durchstichpunkte mit der Tangentialebene im Nordpol bestimmt. Der wesentlichste Nachteil dieser Projektionsart ist, daß sehr steil stehende Flächen sich gnomonisch in sehr großer Entfernung vom Zentrum projizieren. Der große Vorteil der gnomonischen Projektion ist der, daß sich die Zonen des Kristalles als Gerade abbilden. Die Kristallflächen sind somit als Durchschnittpunkte je zweier Zonengeraden bestimmt. An späterer Stelle wird ausgeführt werden, wie ihre Indizes aus der Lage der Projektionspunkte mit Zirkel und Lineal gefunden werden können, daselbst wird auch auf die weiteren Eigenschaften dieser Projektion eingegangen.

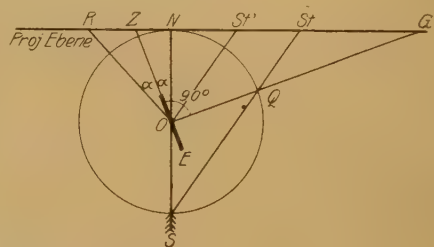


Fig. 6. Beziehung der Reflexprojektion zu den übrigen kristall. Projektionen.

c) *Die stereographische Projektion* (25). Bekanntlich erhält man die stereographische Projektion eines Kristalles, wenn man die Einstichpunkte der vom Mittelpunkte auf die Kristallflächen gefällten Lote mit der konzentrischen Kugelfläche konstruiert und diese Schnittpunkte mittels der vom Südpol gezogenen Sehstrahlen auf die Äquatorebene projiziert. Als Projektionsebene kann auch die Tangentialebene im Nordpol dienen. Von Bragg ist zuerst eine interessante Anwendung der stereographischen Projektion zur Darstellung des Zonenverbandes im Lauediagramm gemacht worden. Die Kegelschnitte projizieren sich als Kreise und Geraden, die sich bequem zeichnerisch wiedergeben lassen an Stelle der umständlichen Kegelschnitte.

d) *Die Quenstedtsche Linearprojektion* (26). Diese ist eine Linienprojektion. Die Kristallflächen werden parallel zu sich soweit verschoben, bis sie durch die Einheit der  $c$ -Achse gehen: Ihre Schnittlinien mit der zur  $c$ -Achse senkrechten Projektionsebene sind die Projektionslinien. Die Projektionen aller Flächen in einer Zone gehen durch einen Punkt. Eine Fläche in zwei Zonen ist als Verbindungslinie der entsprechenden Zonenpunkte gegeben. Die Schnittlinien der Ebenen in der Zone der  $c$ -Achse gehen durch den Nullpunkt.



*Beziehungen zwischen den Projektionsarten.*

In der Fig. 6 ist  $SN$  der Primärstrahl, der die im Nordpol der Kugel gelegte Tangentialebene (photographische Platte) in  $N$  trifft. Der Kristall befindet sich im Mittelpunkt  $O$  der Kugel, und es sei  $E$  eine beliebige Netzebene, die den Glanzwinkel  $\alpha$  mit dem Primärstrahl bildet. Die Zeichenebene stehe senkrecht auf  $E$ . Dann sticht der von  $E$  reflektierte Strahl  $OR$  in  $R$  ein (Reflexprojektion). Die Ebene  $E$  schneidet in der durch  $Z$  senkrecht zur Tafelenebene stehenden Geraden ein (Linearprojektion). Das Lot auf der Ebene  $E$  trifft die Kugel in  $Q$ , die Tangentialebene in  $G$  (gnomonische Projektion). Die Verbindungslinie  $SQ$  schneidet in  $St$  ein (stereographische Projektion). Die Winkelbeziehungen der Figur sind sofort ersichtlich. Ist  $R$  der Radius der Kugel, so ist:

$$NR = R \operatorname{tg} 2\alpha, \quad NZ = R \operatorname{tg} \alpha, \quad NG = R \cotg \alpha, \\ NSt = 2R \operatorname{tg} \frac{(90^\circ - \alpha)}{2}$$

Die Konstruktion oder Berechnung der einzelnen Projektionspunkte aus der Lage des Reflexes  $R$  ist leicht vorzunehmen. Man erhält  $NZ$  durch Konstruktion der Winkelhalbierenden im  $\triangle RON$ ,  $NG$  durch Errichtung des Lotes auf  $OZ$  in  $O$  usw. Die Punkte  $St$  und  $G$  liegen stets auf der rückwärtigen Verlängerung von  $RN$  über  $N$  hinaus.

*Die Übertragung der Lauediagramme in die gnomonische Projektion (27).*

Obgleich es in einfacheren Fällen auch mit Hilfe der übrigen genannten Projektionsmethoden gelingt, die Indizesbestimmung bequem durchzuführen, so ist doch infolge ihrer Zoneigenschaften die gnomonische Projektion am besten dazu geeignet. Oben wurde gezeigt, wie durch eine einfache Konstruktion mit Zirkel und Lineal der zu einem Interferenzpunkt gehörige gnomonische Pol gefunden werden kann. Diese Methode gestaltet sich bei den vielen, oft Hunderten von einzutragenden Projektionspunkten sehr zeitraubend und ist übrigens, besonders bei Reflexen in der Nähe des Primärstrahles, relativ ungenau. Es werden daher in der Praxis eine Reihe anderer Übertragungsmethoden verwendet. Am einfachsten ist die Benutzung einer Tabelle, die zu jedem gemessenen Abstand  $NR$  sofort die Entfernung des gnomonischen Poles  $NG$  angibt (Schiebold 1915), oder eines Maßstabes mit doppelter Skala (Wyckoff 1920). Die Berechnung der Tabelle beruht auf den beiden Gleichungen:

$$NR = R \operatorname{tg} 2\alpha, \quad NG = R \cotg \alpha.$$

Die Abbildung ähnelt der Transformation mit reziproken Radien, insofern als großen Werten von  $NR$  kleine von  $NG$  entsprechen und umgekehrt<sup>1)</sup>. Dem Nullpunkt entspricht der unendlich ferne Punkt.

<sup>1)</sup> Die Strecken  $NZ$  und  $NG$  dagegen stehen in diesem Verhältnis, da  $NZ \cdot NG = R^2$  ist, also  $NG = \frac{R^2}{NZ}$ .

Geschieht die Bestimmung der Lage der Interferenzpunkte durch direkte Messung von Glanzwinkel und Azimut mit Hilfe des Winkelnetzes der Reflexprojektion, so ist es geraten, auch die Eintragung der entsprechenden gnomonischen Pole mit Hilfe eines ähnlichen Netzes vorzunehmen. Es besteht aus konzentrischen Kreisen vom Radius  $q = R \cotg \alpha$  und einer Winkelteilung  $\varphi = \text{konst.}$  Das vom Verfasser konstruierte Netz hat eine Einteilung in  $\frac{1}{2}^\circ$  für die Glanzwinkel und  $1^\circ$  für die Azimute und erstreckt sich bei handlichem Format von  $40 \times 40$  cm über einen Winkelbereich von  $2\frac{1}{2}^\circ < \alpha < 30^\circ$ , was für die Praxis vollkommen ausreicht<sup>2)</sup>.

*Die Auswertung der Lauediagramme mit Hilfe der gnomonischen Projektion.*

Nach Eintragung der gnomonischen Projektionspunkte aus den Reflexen des Lauediagrammes ergibt sich die Aufgabe, die Indizes der zugehörigen Gitterebenen aus der Lage der gnomonischen Pole zu finden. Zum leichteren Verständnis möge zunächst ein Spezialfall behandelt

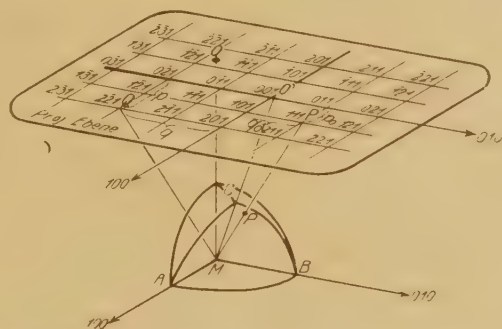


Fig. 7. Indizesbestimmung mit Hilfe der gnomonischen Projektion.

werden. Ein trikliner Kristall sei in der Richtung der  $c$ -Achse durchleuchtet worden. Die Projektionsebene steht in diesem Falle senkrecht zur  $c$ -Achse. Die Verhältnisse lassen sich an Hand der Fig. 7 näher studieren. In ihr ist  $MO$  die Richtung der  $c$ -Achse,  $M$  der Mittelpunkt des Kristalles.  $MA$ ,  $MB$ ,  $MC$  sind die Richtungen der Lote auf die Achsenebenen 100 ( $b$ ,  $c$ ), 010 ( $a$ ,  $b$ ), 001 ( $a$ ,  $c$ ).  $O'$  ist der Einstich der Normalen von 001, er ist der Schnittpunkt der Spuren der Ebenen  $AM$ ,  $MO'$  und  $BM$ ,  $MO'$ . Die gnomonischen Pole der Flächen 100 und 010 liegen, da diese der  $c$ -Achse parallel sind, in den Richtungen  $O'A$  bzw.  $O'B$  im Unendlichen. Ebenso liegen alle anderen Flächen dieser Zone im Unendlichen, ihre Richtung ist festgelegt durch Gerade durch  $O'$ , z. B. 110. Ist nun  $P$  die Projektion der Einheitsfläche (111), so schneiden die Parallelen durch  $P$  zu den Geraden  $O', 100$

<sup>2)</sup> Für die genaue Eintragung von Punkten innerhalb des Bereiches  $10^\circ < \alpha < 30^\circ$  empfiehlt sich die Benutzung eines Netzes mit größerem Radius, etwa 3 cm.

bzw. 0,010, auf diesen die Strecken  $p_0$  bzw.  $q_0$  ab. Eine beliebige andere Fläche  $Q$  bilde die Achsenschnitte  $p$  bzw.  $q$ . V. Goldschmidt hat zuerst gezeigt, daß entsprechend dem Haüy'schen Parametergesetz die Strecken  $p$  und  $q$  stets einfache rationale Vielfache oder Bruchteile der Einheitsstrecken  $p_0$  und  $q_0$  sind. In obiger Figur ist  $p = 2 p_0$ ,  $q = -2 q_0$ . Dieser Satz läßt sich auch so aussprechen: die Geraden  $p = p_0$ ,  $q = q_0$  bilden ein paralleles, äquidistantes Netz in der Projektionsebene, das jeden Projektionspunkt eindeutig festlegt. Der Zusammenhang der Strecken  $p$  und  $q$  mit den Indizes  $h, k, l$  ist sehr einfach, macht man durch Division den dritten Index  $l = 1$ , so sind  $\frac{h}{l} = p$  und  $\frac{k}{l} = q$ .

Auf diese Weise ist das Indizesschema der Figur eingetragen und die Interferenzpunkte lassen sich ohne weiteres auswerten.

Während man bei den üblichen kristallographischen Messungen das Netz der äquidistanten parallelen Zonenlinien erst konstruieren muß, ist

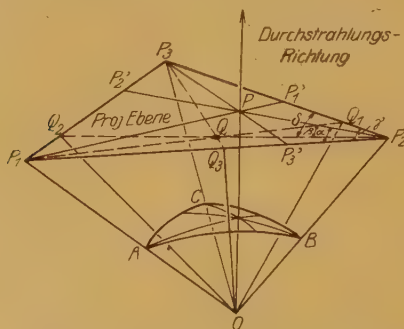


Fig. 8. Auswertung der gnomonischen Projektion bei schiefer Lage der Projektionsebene.

es durch das Lauediagramm unmittelbar gegeben. Man braucht nur durch die entsprechenden gnomonischen Pole unter Berücksichtigung der Fehlergrenzen die Geraden zu ziehen. Ihre Abstände geben die Parameter  $p_0$  und  $q_0$ , auch wenn die Einheitsfläche selbst nicht im Diagramm auftritt. Als Pol der Fläche 001 wählt man einen intensiven Punkt, durch den möglichst viele radiale Zonen gehen.

Ist die Projektionsebene nicht senkrecht zur  $c$ -Achse, liegt also die Durchstrahlungsrichtung irgendwie schief zu den Kristallachsen, so ist die Auswertung der Diagramme erheblich umständlicher. Hat man ein gnomonisches Netz (28) zur Verfügung, das ähnlich wie das Wulff'sche Netz der stereographischen Projektion eine Umwälzung der Projektionsebene durch Verschieben sämtlicher Projektionspunkte auf Hyperbeln bequem ausführen läßt, so empfiehlt sich zuerst die Projektionsebene in die Ebene senkrecht zur  $c$ -Achse zu verschieben und dann die Projektion wie angegeben auszuwerten. Im anderen Falle, eventuell auch der größeren Genauigkeit halber, kann das schiefe Diagramm auf folgende Weise

ausgewertet werden. In Fig. 8 ist die Projektionsebene senkrecht zur Durchstrahlungsrichtung  $OP$ . Die gnomonischen Pole der Flächen 001, 100, 010 liegen jetzt alle im Endlichen und ihre Verbindungslinien bilden ein Dreieck, wobei  $P$  der Einfachheit halber im Innern desselben angenommen sei. Infolgedessen gehen die äquidistanten, parallelen Linien der Fig. 7 in Geradenbüschel durch 100, 010 und 001 über. Der Zonenverband bleibt bei einer Drehung des Kristalles erhalten. Sind nun die Indizes einer beliebigen vierten Fläche, als welche auch die Fläche  $P$  dienen kann, bekannt, so zieht man die Geraden  $PP_1$ ,  $PP_2$ ,  $PP_3$ , die auf  $P_2P_3$ ,  $P_3P_1$ ,  $P_1P_2$  bzw. die Punkte  $P_1'$ ,  $P_2'$ ,  $P_3'$  ausschneiden. Ebenso erhält man für eine beliebige fünfte, sechste usw. Kristallfläche die Punkte  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  usw. Dann läßt sich zeigen, daß das Doppelverhältnis der Sinus der Neigungswinkel der vier Ebenen  $P_1, Q_2, P_2', P_3$ , die in einer Zone liegen, gleich dem Doppelverhältnis der Sinus der Winkel entsprechender Strahlen eines Büschels (etwa durch  $P_2$ ) und auch gleich dem Doppelverhältnis der Punkte  $P_1, Q_2, P_2', P_3$  ist (29). Ebendasselbe gilt für die Ebenen, die zu den Punkten  $P_3, P_1', Q_1, P_2$  und  $P_2, P_3', Q_3, P_3$  gehören. Das erstgenannte Doppelverhältnis hat den Wert:

$$\mathfrak{A}_1 = \frac{\sin EP_1 EP_2'}{\sin EQ_2 EP_2'} : \frac{\sin EP_1 EP_3}{\sin EQ_2 EP_3} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} : \frac{\sin \gamma}{\sin \delta} \\ = \frac{P_1 P_2'}{Q_2 P_2'} : \frac{P_1 P_3}{Q_2 P_3}$$

Andererseits drückt sich das Doppelverhältnis durch die Millerschen Indizes der entsprechenden Ebenen in dreifacher Weise aus, es ist:

$$\mathfrak{A}_1 = \frac{k_1 l_3 - l_1 k_3}{k_2 l_3 - l_2 k_3} : \frac{k_1 l_4 - l_1 k_4}{k_2 l_4 - l_2 k_4} = \frac{l_1 h_3 - h_1 l_3}{l_2 h_3 - h_2 l_3} : \frac{l_1 h_4 - h_1 l_4}{l_2 h_4 - h_2 l_4} \\ = \frac{h_1 k_3 - k_1 h_3}{h_2 k_3 - k_2 h_3} : \frac{h_1 k_4 - k_1 h_4}{h_2 k_4 - k_2 h_4}$$

wenn man die Indizes von  $P_1, Q_2, P_2', P_3$  bzw. mit  $(h_1 k_1 l_1)$ ,  $(h_2 k_2 l_2)$ ,  $(h_3 k_3 l_3)$ ,  $(h_4 k_4 l_4)$  bezeichnet. Im vorliegenden Falle nimmt das Doppelverhältnis einen einfachen Wert an, da alle Ebenen in der Zone der  $b$ -Achse liegen, also  $k_i = 0$  ist. Es ergibt sich, wenn  $P_2'$  die Indizes  $h_0 0 l_0$  erhält, der

Wert des Doppelverhältnisses zu  $\mathfrak{A}_1 = \frac{1}{1 - q_1}$ , wobei

$q_1 = \frac{h_0 l_2}{l_0 h_2}$ ; entsprechend findet man den Wert des Doppelverhältnisses in der Zone  $P_3 P_1' Q_1 P_2$

$\mathfrak{A}_2 = \frac{1}{1 - q_2}$ ;  $q_2 = \frac{k_0}{h_0} \frac{h_2}{k_2}$  und in der Zone  $P_2 P_3' Q_3 P_1$ :

$\mathfrak{A}_3 = \frac{1}{1 - q_3}$ ;  $q_3 = \frac{l_2 k_0}{k_2 l_0}$ . Da andererseits der Wert

des Doppelverhältnisses durch das bekannte Streckendoppelverhältnis  $\frac{P_1 P_2'}{Q_2 P_2'} : \frac{P_1 P_3}{Q_2 P_3}$  usw. aus

der Projektion entnommen werden kann, sind die



linken Seiten der Gleichungen gegeben, und die Unbekannten  $h_2, k_2, l_2$  findet man aus den drei Gleichungen:

$$\frac{h_2}{l_2} = \frac{l_0}{h_0} \frac{A_1 - 1}{A_1}, \quad \frac{h_2}{k_2} = \frac{h_0}{k_0} \frac{A_2 - 1}{A_2}, \quad \frac{l_2}{k_2} = \frac{l_0}{k_0} \frac{A_3 - 1}{A_3}$$

Da nur die Verhältnisse der Indizes in Betracht kommen, braucht man stets nur zwei Doppelverhältnisse zu konstruieren, die man je nach der Lage der Fundamentalepunkte  $P_1, P_2, P_3$  passend auswählt.

Da sich im Lauediagramm jeder Reflex mindestens in einer Zone befindet, läßt sich die Konstruktion mit Hilfe des Doppelverhältnisses stets ausführen. Wo ein Reflex in zwei oder mehr Zonen liegt, wird man natürlich seine Indizes nach den gewöhnlichen Zonenregeln ausrechnen.

Bezüglich der Wahl der Fundamentalfächen und der Beziehungen zu den Elementen des Kristalles kann auf das S. 406 Gesagte verwiesen werden.

Ein einfaches Beispiel diene zur näheren Erläuterung. Der in Fig. 3 gezeichnete Feldspatkristall (Adular) wurde senkrecht zur Fläche  $P$  (001) durchstrahlt. Das Diagramm ist in Fig. 4, die zugehörige gnomonische Projektion in Fig. 9 schematisch wiedergegeben. Da der Winkel  $\beta' = \angle 001:100 = 63^\circ 57'$  ist, würde die Fläche  $a \perp 100$  selbst im Diagramm unter dem Glanzwinkel  $\alpha_{100} = 26^\circ 3'$  auftreten. Die Zone der Prismen ( $hk0$ ) erscheint deshalb als langgestreckte Ellipse hervorgehoben. Die  $b$ -Achse liegt im Diagramm von links nach rechts, auf ihr liegen die Reflexe der Ebenen  $0kl$ . Die  $a$ -Achse liegt von vorn nach hinten, sie enthält die Reflexe der Ebenen  $h0l$ . In der Projektion liegt der Pol von 100 hinten, der von 001 in der Mitte, der von 010 im Unendlichen in der Richtung der Achse  $b$ . Das Fundamentaldreieck der Fig. 8 hat jetzt die durch die dick ausgezogenen Linien festgelegte Lage. In der Figur wurden die Zonenlinien durch 110,  $\bar{2}01$ ,  $\bar{2}21$  und 010 gezogen. Die letzteren sind natürlich parallele Linien zur  $b$ -Achse. Das aus den 4 Punkten  $P_1$  (001),  $P_2$  ( $0k_2l_2$ ),  $P_3$  ( $0k_3l_3$ ),  $P_4$  (010) gebildete Doppelverhältnis hat wegen der Lage von 010 den Wert:

$$A = \frac{1}{1 - \frac{k_2}{l_2} \frac{l_3}{k_3}} = \frac{P_1 P_3}{P_2 P_3}$$

hieraus folgt:

$$\frac{l_3}{k_3} = \frac{l_2}{k_2} \frac{P_1 P_2}{P_1 P_3}$$

Ebenso ergibt sich für die vier Punkte  $Q_1$  (100),  $Q_2$  (001),  $Q_3$  ( $h_3 0 l_3$ ),  $Q_4$  ( $h_3 0 l_3$ ) das Verhältnis:

$$\frac{h_3}{l_3} = \frac{h_2}{l_2} \frac{Q_1 Q_3}{Q_2 Q_3} \frac{Q_1 Q_4}{Q_2 Q_4}$$

Ist die Fläche  $P_2$  bekannt oder nimmt man sie als Einheitsfläche ( $\bar{1}11$ ) und setzt das bekannte Verhältnis:

$$\frac{Q_1 Q_3}{Q_2 Q_3} = n$$

so wird der Index einer beliebigen Fläche  $R(hkl)$ :

$$\frac{l}{k} = \frac{P_1 P_2}{P_1 P_3} \cdot \frac{\bar{h}}{l} = n \frac{Q_2 Q_4}{Q_1 Q_4}$$

Alle Punkte auf Parallelen zur  $b$ -Achse haben den gleichen ersten Index  $h$ , alle Punkte in den Zonen durch 100 das gleiche Verhältnis von  $\frac{k}{l} = m$ .

Nimmt  $m$  die Werte 1, 2, 3, ... der Reihe nach an, so sind die von den zugehörigen Strahlen durch 100 auf den Parallelen abgeschnittenen Strecken 1, 2, 3, ... mal so groß.

Auf ähnliche Weise wurden die angeschriebenen Indizes bestimmt.

Als weiteres einfaches Beispiel sei die graphische Deutung einer Aufnahme von Steinsalz nach (001) mit Hilfe der gnomonischen Projektion gegeben. Das in Richtung der vierzähligen

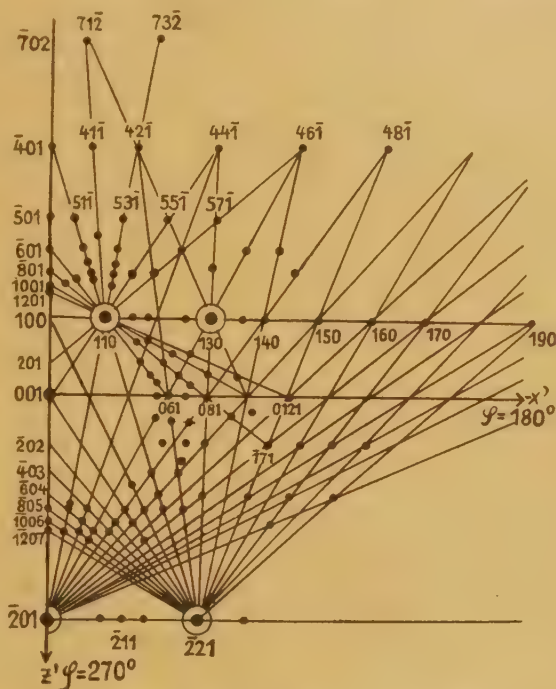


Fig. 9. Gnomonische Projektion des Lauediagrammes der Fig. 4.

Achse durchstrahlte Diagramm ist zur Hälfte in Fig. 10 wiedergegeben. Die Übertragung in die gnomonische Projektion geschieht mit Hilfe des gezeichneten Maßstabes. So findet man z. B. den zum Punkt  $R$  gehörigen gnomonischen Pol aus  $OR = 24$  mm (untere Skala), den Wert  $OG = 24$  mm (obere Skala), den wir auf der Verlängerung von  $OR$  über  $O$  hinaus abtragen. Die beiden parallelen, äquidistanten Zonenlinienscharen schneiden die Einheitsstrecken  $q_0 = p_0 = R = 16,0$  mm ab, infolge der  $45^\circ$  Neigung der Rhombendodekaederflächen zu den Würfebenen. Man erkennt, daß eine große Zahl von Projektionspunkten in den Schnittpunkten des Netzes liegt, auch die übrigen Indizes lassen sich leicht ermitteln.

### Die Berechnung der Elemente eines Kristalles aus dem Lauediagramm.

Das Achsenverhältnis  $a : b : c$  und die Achsenwinkel  $\alpha, \beta, \gamma$  eines triklinen Kristalles lassen sich aus dem Lauediagramm vermittle der gnomonischen Projektion verhältnismäßig leicht bestimmen. Da die Behandlung des allgemeinsten Falles nicht erheblich schwieriger ist als die eines Spezialfalles, so soll im Folgenden ein Diagramm nach der beliebigen Fläche  $P(h_0k_0l_0)$  d. h. eine Durchstrahlung des Kristalles senkrecht zur Fläche  $P$  zugrunde gelegt werden.

Zwischen den Achsenschnitten und den Winkeln  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  der Normalen einer Kristallfläche  $Q(hkl)$  mit den Achsen  $a, b, c$  besteht die Beziehung:

$$\frac{a}{h} \cos \omega_1 = \frac{b}{k} \cos \omega_2 = \frac{c}{l} \cos \omega_3 \quad (1)$$

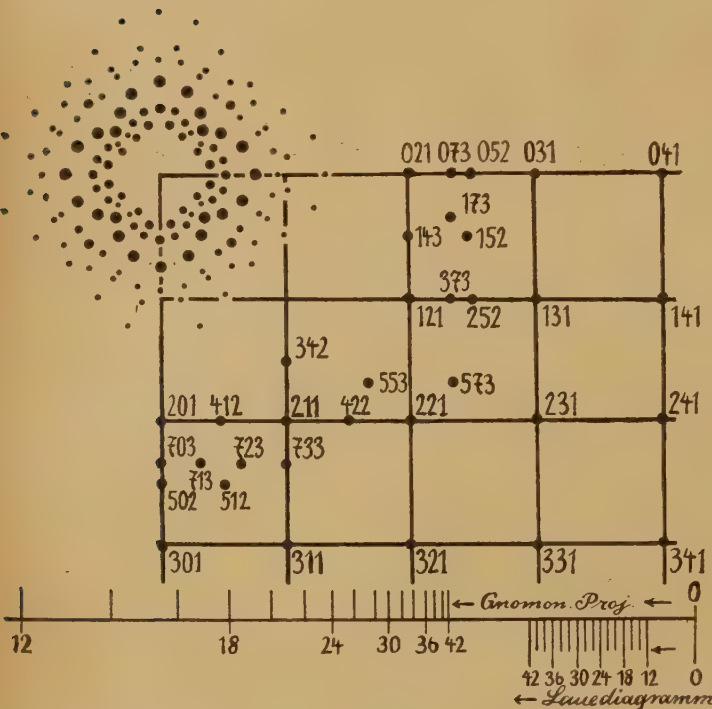


Fig. 10. Auswertung eines Steinsalzdiagrammes nach 001 mit Hilfe der gnomonischen Projektion.

Diese Gleichung kann in folgender Weise umgeformt werden. Fig. 11 stellt die stereographische Projektion des Achsenkreuzes, der Fundamentalflächen 001, 010, 100 und einer beliebigen Fläche  $Q(hkl)$  dar. Die Zonen durch  $Q$  und die Ecken des sphärischen Dreiecks  $A, B, C$  schneiden auf den Seiten desselben die Punkte  $Q_2 = h0l, Q_1 = 0kl, Q_3 = hk0$  aus. Es entstehen sechs Kantenwinkel, die wir der Reihe nach mit den Buchstaben  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2$  (s. Figur) bezeichnen. Da die Winkel des sphärischen Dreiecks bei  $A, B, C$  die Supplemente der Achsenwinkel  $\alpha, \beta, \gamma$  sind, ist  $\alpha_1 + \alpha_2 = 180^\circ - \alpha, \beta_1 + \beta_2 = 180^\circ - \beta, \gamma_1 + \gamma_2 = 180^\circ - \gamma$ . Die Seiten des

Dreiecks  $AC, CA, AB$  sind die Winkel der Flächen  $\lambda = 010 : 001, \mu = 001 : 100, \nu = 100 : 010$ . Es besteht die Beziehung nach dem Sinussatz:

$$\sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma = \sin \lambda : \sin \mu : \sin \nu$$

Wir legen nun durch den Pol  $Q$  und die Ausstichpunkte der Achsen  $a, b, c$  größte Kreise, die auf den Seiten des Dreiecks  $ABC$  die Punkte  $L, M, N$  ausschneiden. Da die Achsen  $a, b, c$  als Pole der Grundzonen  $BC, CA, AB$  von diesen um  $90^\circ$  abstehen, sind auch die Winkel bei  $L, M, N$  Rechte, und es ist:

$$QL = 90^\circ - \omega_1, QM = 90^\circ - \omega_2, QN = 90^\circ - \omega_3,$$

mithin wird (1) zu:

$$\frac{a}{h} \sin QL = \frac{b}{k} \sin QM = \frac{c}{l} \sin QN \quad (2)$$

Aus den rechtwinkligen sphärischen Dreiecken folgt:

$$\frac{\sin QN}{\sin QM} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}, \frac{\sin QM}{\sin QL} = \frac{\sin \beta_1}{\sin \beta_2}, \frac{\sin QL}{\sin QN} = \frac{\sin \gamma_1}{\sin \gamma_2}$$

Durch Einsetzen folgt aus Gleichung (2) die Fundamentalgleichung (3):

$$\frac{b}{c} = \frac{k \sin \alpha_1}{l \sin \alpha_2}, \frac{a}{b} = \frac{h \sin \beta_1}{k \sin \beta_2}, \frac{c}{a} = \frac{l \sin \gamma_1}{h \sin \gamma_2} \quad (3)$$

Nennt man die Winkel  $AQB = \eta, BQC = \theta, CQA = \xi$ , dann ergibt die Betrachtung der sphärischen Dreiecke (s. Figur) die Sinusrelationen:

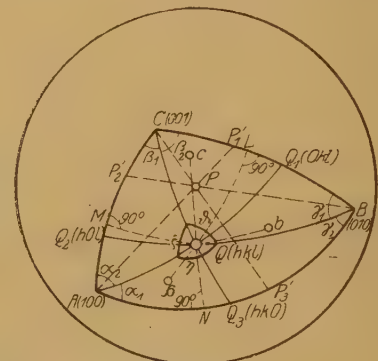


Fig. 11. Stereographische Projektion des Fundamentaldreiecks.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sin \mu \sin \alpha_2}{\sin \nu \sin \alpha_1} &= \frac{\sin \xi \sin QC}{\sin \eta \sin QB} \\ \frac{\sin \nu \sin \gamma_2}{\sin \lambda \sin \gamma_1} &= \frac{\sin \eta \sin QA}{\sin \theta \sin AC} \\ \frac{\sin \lambda \sin \beta_2}{\sin \mu \sin \beta_1} &= \frac{\sin \theta \sin QB}{\sin \xi \sin QA} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

oder mit Benutzung von (3):

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sin \mu}{\sin \nu} &= \frac{\sin \xi \sin QC}{\sin \eta \sin QB} \cdot \frac{b}{c} \cdot \frac{l}{k} \\ \frac{\sin \nu}{\sin \lambda} &= \frac{\sin \eta \sin QA}{\sin \theta \sin QC} \cdot \frac{c}{a} \cdot \frac{h}{l} \\ \frac{\sin \lambda}{\sin \mu} &= \frac{\sin \theta \sin QB}{\sin \xi \sin QA} \cdot \frac{a}{l} \cdot \frac{k}{h} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$



Ferner nach dem Kosinussatz:

$$\left. \begin{aligned} \cos \lambda &= \cos QC \cos QB + \sin QC \sin QB \cos \vartheta \\ \cos \mu &= \cos QA \cos QC + \sin QA \sin QC \cos \xi \\ \cos \nu &= \cos QB \cos QA + \sin QB \sin QA \cos \eta \end{aligned} \right\} (6)$$

An Stelle der beliebigen Fläche  $Q$  ( $hkl$ ) können wir natürlich auch die bekannte Fläche  $P_0$  ( $h_0k_0l_0$ ) nehmen. Da ihre Normale senkrecht auf der Projektionsebene steht, lassen sich die Winkel  $AP_0B = \eta_0$ ,  $BP_0C = \zeta_0$ ,  $CP_0A = \vartheta_0$  unmittelbar der Zeichnung entnehmen. Ferner ergeben sich durch Messung der Strecken  $P_1P_0$ ,  $P_2P_0$ ,  $P_3P_0$  (s. Fig. 8) aus den rechtwinkligen Dreiecken  $P_1OP_0$ ,  $P_2OP_0$ ,  $P_3OP_0$  die Winkel  $P_0A$ ,  $P_0B$ ,  $P_0C$ . Man beachte, daß diese Winkel die Komplemente der gemessenen Glanzwinkel  $\alpha_{100}$ ,  $\alpha_{010}$ ,  $\alpha_{001}$  sind.

Der Gang der Berechnung kann jetzt wie folgt kurz skizziert werden: 1. Festlegung der Pole  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  der drei Fundamentalfächen 100, 010, 001 als Scheitel von Zonenbüscheln; 2. Berechnung der Winkel  $P_1OP_0$ ,  $P_2OP_0$ ,  $P_3OP_0$ ; 3. Messung der Winkel  $\eta_0$ ,  $\zeta_0$ ,  $\vartheta_0$  (Kontrolle  $\eta_0 + \zeta_0 + \vartheta_0 = 360^\circ$ ); 4. Berechnung der Winkel  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  aus  $\lambda$ ,  $\mu$ ,  $\nu$  nach Formel; 6. Berechnung des Achsenverhältnisses  $a:b:c$  aus Gleichung (5), wobei  $QA$ ,  $QB$ ,  $QC$ ;  $\eta$ ,  $\xi$ ,  $\vartheta$ ;  $hkl$  zu ersetzen sind durch:  $P_0A$ ,  $P_0B$ ,  $P_0C$ ;  $\eta_0$ ,  $\zeta_0$ ,  $\vartheta_0$ ;  $h_0k_0l_0$ .

Es sei noch kurz erwähnt, wie man mit Hilfe der genannten Beziehungen die Indizes einer beliebigen Fläche  $Q$  ( $hkl$ ) findet. Man ziehe  $P_1Q$ ,  $P_2Q$ ,  $P_3Q$  und messe die Streckenverhältnisse

$$x = \frac{Q_1P_2}{Q_1P_3}; \quad y = \frac{Q_3P_1}{Q_3P_2}; \quad z = \frac{Q_2P_3}{P_2Q_3} \quad (\text{Fig. 8})$$

dann ist:

$$\frac{l}{k} = \varepsilon_1 x; \quad \frac{k}{h} = \varepsilon_2 y; \quad \frac{h}{l} = \varepsilon_3 z$$

wobei:

$$\varepsilon_1 = \frac{c \sin \mu \cos P_0P_2}{b \sin \gamma \cos P_0P_3}; \quad \varepsilon_2 = \frac{b \sin \lambda \cos P_0P_1}{a \sin \mu \cos P_0P_2};$$

$$\varepsilon_3 = \frac{a \sin \nu \cos P_0P_3}{c \sin \lambda \cos P_0P_1}$$

für das betreffende Diagramm charakteristische Konstanten sind. Da nur die Verhältnisse  $h:k:l$  gesucht sind, hat man eine der drei Gleichungen zur Kontrolle.

#### Die Auswertung von Lauediagrammen mittels Schablonen.

Dieses Prinzip ist am einfachsten bei Laueaufnahmen von isometrischen Kristallen anwendbar. Wie schon Laue und seine Mitarbeiter fanden, decken sich rein geometrisch alle Lauediagramme isometrischer Kristalle bei gleichem Radius. Die verschiedene Struktur tritt allein in der Verschiedenheit der Intensitäten entsprechenden Interferenzpunkte zutage. Vom Verfasser wurden schon 1916 Netze entworfen für Dia-

gramme nach dem Würfel, Rhombendodekaeder, Oktaeder, Ikositetraeder usw., die auf Glasplatten photographiert die Indizes mit einem Blick abzulesen gestatten. Die Indizes ergeben sich aus den Kurven, die sich in dem betreffenden Interferenzpunkt schneiden.

#### Allgemeine rechnerische Auswertung der Lauediagramme.

a) Allgemeine Formel zur Indizesbestimmung (30). Zum Schluß unserer Ausführungen sei noch eine allgemein anwendbare Indizesformel angegeben, die in komplizierteren Fällen oder wo es auf möglichst mechanische Auswertung vieler Punkte ankommt, mit Vorteil verwendbar ist.

Unter Zugrundelegung des rechtwinkligen Koordinatensystems  $x, y, z$  der Seite 402 sowie der dort angegebenen Orientierung des Schliffes sind die Winkel der kristallographischen Achsen, der Durchstrahlungsrichtung und der Orientierungsrichtung festgelegt nach der nachstehenden Tabelle:

| Richtung                             | mit        |             |            | mit          |              |              |
|--------------------------------------|------------|-------------|------------|--------------|--------------|--------------|
|                                      | $x$        | $y$         | $z$        | $a$          | $b$          | $c$          |
| Achse $a$ .....                      | $\alpha_1$ | $\beta_1$   | $\gamma$   | 0            | $\gamma$     | $\beta$      |
| „ $b$ .....                          | $\alpha_2$ | $\beta_2$   | $\gamma_2$ | $\gamma$     | 0            | $\alpha$     |
| „ $c$ .....                          | $\alpha_3$ | $\beta_3$   | $\gamma_3$ | $\beta$      | $\alpha$     | 0            |
| (+) Normale des Schliffes .....      | $90^\circ$ | $180^\circ$ | $90^\circ$ | $\omega_1^0$ | $\omega_2^0$ | $\omega_3^0$ |
| (+) Normale der reflekt. Gitterebene | $\alpha_0$ | $\beta_0$   | $\gamma_0$ | $\omega_1$   | $\omega_2$   | $\omega_3$   |
| (+) Orientierungsrichtung .....      | $90^\circ$ | $90^\circ$  | $0^\circ$  | $\varphi_1$  | $\varphi_2$  | $\varphi_3$  |

Zwischen Glanzwinkel  $\alpha$ , Azimut  $\varphi$  und der Normale der reflektierenden Gitterebene besteht die Beziehung:

$$\begin{aligned} \cos \alpha_0 &= \cos \alpha \cos \varphi \\ \cos \beta_0 &= \cos (90^\circ + \alpha) \\ \cos \gamma_0 &= \cos \alpha \sin \varphi \end{aligned}$$

Ferner ist nach den Regeln der analytischen Geometrie des Raumes:

$$\begin{aligned} \cos \omega_1 &= \cos \alpha_0 \cos \alpha_1 + \cos \beta_0 \cos \beta_1 + \cos \gamma_0 \cos \gamma_1 \\ &= \cos \alpha \cos \varphi - \sin \alpha \cos \beta_1 + \cos \alpha \sin \varphi \cos \gamma_1 \\ &= \cos \alpha \cos \varphi + \sin \alpha \cos \omega_1^0 + \cos \alpha \sin \varphi \cos \gamma_1 \end{aligned}$$

Gleiches gilt für  $\cos \omega_2$  und  $\cos \omega_3$ . Nach Division mit  $\cos \alpha$  und Berücksichtigung der Gleichung S. 408 wird bis auf einen Proportionalfaktor  $q$ :

<sup>1)</sup> Es ist (siehe Fig. 11)

$$\frac{\sin CQ_1}{\sin BQ_1} = \frac{\sin CQ \sin \xi}{\sin BQ \sin \eta}$$

Ferner ist in dem ebenen Dreieck  $P_3O_2P_2$ , dessen Transversale  $OQ_1$  ist,

$$\frac{\sin CQ_1}{\sin BQ_1} = \frac{P_3Q_1}{P_2Q_1} \cdot \frac{OP_2}{OP_3}$$

dies in Gleichung (5) eingesetzt, liefert obige Beziehung. Die beiden anderen ergeben sich durch Betrachtung der Dreiecke  $P_1OP_3$  und  $P_1OP_2$ . Es ist  $\varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 = 1$ , ebenso  $xyz = 1$ .

<sup>1)</sup> Es ist z. B.  $\frac{\sin CQ_1}{\sin \alpha_2} = \frac{\sin \mu}{\sin \vartheta}$ ;  $\frac{\sin CQ_1}{\sin \xi} = \frac{\sin CQ}{\sin \vartheta}$ ;  
 $\frac{\sin BQ_1}{\sin \alpha_1} = \frac{\sin \nu}{\sin \vartheta}$ ;  $\frac{\sin BQ_1}{\sin \eta} = \frac{\sin BQ}{\sin \vartheta}$ ;

worauf durch Division das obige Ergebnis folgt.

$$e \frac{h}{a} = \operatorname{tg} \alpha \cos \omega_1^0 + \sin \varphi \cos \varphi_1 + \cos \varphi \cos \alpha_1$$

$$e \frac{k}{b} = \operatorname{tg} \alpha \cos \omega_2^0 + \sin \varphi \cos \varphi_2 + \cos \varphi \cos \alpha_2$$

$$e \frac{c}{l} = \operatorname{tg} \alpha \cos \omega_3^0 + \sin \varphi \cos \varphi_3 + \cos \varphi \cos \alpha_3$$

wobei  $\cos \alpha_i = \sqrt{1 - \cos^2 \omega_i^0 - \cos^2 \varphi_i}$  ( $i = 1, 2, 3$ ). Sind die Richtungscosinus der Normalen der Schlifffebene und der Orientierungsrichtung bekannt, ebenso das Achsenverhältnis, so lassen sich die Indizes  $h, k, l$  aus den gemessenen Werten von  $\alpha$  und  $\varphi$  nach Gleichung berechnen. Es ist dabei auf die Vorzeichen zu achten, am besten durch Betrachtung einer diesbezüglichen Projektion.

2. *Spezialfall.* Als Beispiel der Verwendung der Indizesformel diene der auf S. 403 unten behandelte Fall eines Lauediagrammes nach 001 von Adular.

Da die Aufnahmeffläche parallel (001) ist, und als orientierende Gerade die Projektion der Achse  $c$  auf die 001-Ebene dient, wird die Spezialformel:

$$h:k:l = a \operatorname{tg} \varphi : 1 : c \left( \frac{\sin \beta}{\cos \varphi} \operatorname{tg} \alpha - \cos \beta \operatorname{tg} \varphi \right) \begin{cases} \beta \text{ spitz} \\ \varphi \neq 90^\circ, 270^\circ \end{cases}$$

Für  $\varphi = 90$  bzw.  $270^\circ$  ist sie zu ersetzen durch:

$$h:0:l = \pm 1:0:\frac{c}{a} (\sin \beta \operatorname{tg} \alpha \mp \cos \beta)$$

Oberes Vorzeichen  $\varphi = 90^\circ$ , unteres  $\varphi = 270^\circ$ . Als Beispiel für die Berechnung und die relative Genauigkeit der Indizes diene die Tabelle, die eine Anzahl beliebig herausgegriffener Punkte enthält:

| Nr | $\alpha$ | $\varphi$ | $\operatorname{tg} \varphi$ | $a \operatorname{tg} \varphi$<br>= $h$ | $\cos \varphi$ | $\operatorname{tg} \alpha$ | $\sin \beta$<br>$\times \operatorname{tg} \alpha$ | $\frac{\sin \beta \operatorname{tg} \alpha}{\cos \varphi}$ | $\cos \beta$<br>$\times \operatorname{tg} \varphi$ | Diff.<br>9-10 | $c \cdot \text{Diff.}$<br>= $l$ | $l$                     | $h$                       | $h k l$           |
|----|----------|-----------|-----------------------------|--|----------------|----------------------------|---|--|--|---------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------|
| 1  | 2        | 3         | 4                           | 5                                      | 6              | 7                          | 8   | 9  | 10   |               | 11                              | 12                      | 13 = 5                    | 14                |
| 61 | 7°50'    | -10°      | -0,1763                     | -0,1161                                | 0,9848         | 0,1376                     | 0,1236  | 0,1256   | -0,0775  | +0,2031       | +0,1129                         | $\frac{1}{9} = 0,1111$  | $-\frac{1}{9} = -0,1111$  | $\overline{161}$  |
| 62 | 8 55     | -11       | 1944                        | 1270                                   | 9816           | 1569                       | 1410  | 1437   | 0854   | 2291          | 1273                            | $\frac{1}{8} = 0,1250$  | $-\frac{1}{8} = -0,1250$  | $\overline{181}$  |
| 63 | 10 05    | -12½      | 2217                        | 1460                                   | 9763           | 1778                       | 1597  | 1636   | 0974   | 2610          | 1451                            | $\frac{1}{7} = 0,1429$  | $-\frac{1}{7} = -0,1429$  | $\overline{171}$  |
| 64 | 13 55    | -17       | 3057                        | 2013                                   | 9563           | 2478                       | 2226  | 2326   | 1342   | 3668          | 2098                            | $\frac{1}{5} = 0,2000$  | $-\frac{1}{5} = -0,2000$  | $\overline{151}$  |
| 65 | 15 10    | -19       | 3443                        | 2267                                   | 9455           | 2711                       | 2436  | 2575   | 1460   | 4035          | 2243                            | $\frac{3}{13} = 0,2308$ | $-\frac{3}{13} = -0,2308$ | $\overline{3133}$ |
| 66 | 17 50    | -22½      | 4142                        | 2728                                   | 9239           | 3217                       | 2890  | 3126   | 1818   | 4944          | 2748                            | $\frac{3}{11} = 0,2727$ | $-\frac{3}{11} = -0,2727$ | $\overline{3113}$ |
| 67 | 7 30     | -20       | 3640                        | 2397                                   | 9397           | 1317                       | 1183  | 1259   | 1600   | 2859          | 1588                            | $\frac{2}{13} = 0,1538$ | $-\frac{3}{13} = -0,2508$ | $\overline{3132}$ |
| 68 | 8 40     | -22½      | 4142                        | 2728                                   | 9239           | 1524                       | 1369  | 1482   | 1818   | 3300          | 1835                            | $\frac{2}{11} = 0,1818$ | $-\frac{3}{11} = -0,2727$ | $\overline{3112}$ |
| 69 | 10 10    | -27       | 5095                        | 3355                                   | 8910           | 1793                       | 1611  | 1808   | 2238   | 4046          | 2246                            | $\frac{2}{9} = 0,2222$  | $-\frac{1}{3} = -0,3333$  | $\overline{392}$  |
| 70 | 12 15    | -33       | 6494                        | 4276                                   | 8387           | 2171                       | 1950  | 2324   | 2850   | 5174          | 2878                            | $\frac{2}{7} = 0,2857$  | $-\frac{3}{7} = -0,4286$  | $\overline{372}$  |
| 71 | 8 50     | -30       | 5774                        | 3802                                   | 8660           | 1554                       | 1396  | 1612   | 2535   | 4147          | 2335                            | $\frac{3}{13} = 0,2308$ | $-\frac{5}{13} = -0,3846$ | $\overline{5133}$ |

Das zugrunde gelegte Achsenverhältnis des Adulars ist  $a:b:c = 0,658\ 51:1:0,555\ 38$ ;  $\beta = 63^\circ 57'$ . Die Rechnung ist unter Benutzung der trigonometrischen Funktionentafeln mit Rechenschieber ausgeführt. Man erkennt, daß die Indizes eindeutig bestimmt sind. Zur Kontrolle dient ev. der aus der gnomonischen Projektion leicht ersichtliche Zonenverband (s. Fig. 9).

Die vorstehenden Erläuterungen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es lag vielmehr in der Absicht des Verfassers, den Gang der

Auswertung und die praktisch verwendbaren Methoden kurz in allgemeinen Umrissen zu skizzieren<sup>1)</sup>.

#### Literatur und Anmerkungen.

1. M. v. Laue, Die Naturwissensch. 50, 968—971, 1920.
2. F. Rinne, ebenda S. 971—973.
3. W. Friedrich, P. Knipping u. M. v. Laue, Münch. Ber. 1912, S. 303.
4. E. Wagner, Die Naturwissensch. 50, 973—978, 1920; E. Wagner und R. Glocker, Phys. Zeitschr. 14, 1232, 1913.
5. M. v. Laue, Festschrift der Dozenten der Universität Zürich 1914.
6. P. Debye, Verhandl. d. deutsch. Phys. Ges. 15, 678 u. 738, 1913.
7. P. P. Ewald, Phys. Zeitschr. 14, 465, 1913; 21, 617, 1920.
8. R. Glocker, Phys. Zeitschr. 15, 401, 1914; Ann. Phys. 47, 376, 1915.
9. E. Schiebold, Abhandl. d. Sächs. Ges. d. Wiss. math.-phys. Kl. 36, 1919.
10. W. H. und W. L. Bragg, Proc. Roy. Soc. (A) 88, 428, 1913; Zeitschr. f. anorg. Chemie 90, 153.
11. P. Debye u. P. Scherrer, Phys. Zeitschr. 17, 277, 1916.
12. P. Knipping, Die Naturwissensch. 50, 965—968, 1920.
13. G. Wulff, Zeitschr. f. Krist. 54, 59, 1914.
14. F. Rinne, Ber. d. Sächs. Akad. d. Wissensch. math.-phys. Kl. 67 (1915), 68 (1916).
15. H. Seemann, Phys. Zeitschr. 18, 242, 1917.
16. A. Hadding, Festschrift der Univers. Lund 1918.
17. R. Wyckoff, Amer. Journ. of Sc. [4], vol. L, 317 bis 360, 1920.
18. R. Groß, Ber. d. Sächs. Ak. d. Wiss., Math.-phys. Kl., 70 (1918).
19. G. Friedel, C. R. 169, 1147, 1919.

20. R. Anders, Ber. d. Sächs. Ak. d. Wiss., Math.-phys. Kl. 73, 117, 1921.
21. Vgl. F. Rinne, Bd. Chemie der Kultur der Gegenwart 1913.
22. M. v. Laue, Münch. Berichte 1912, 363.
23. Näheres s. F. Rinne, Elementare Anleitung.

<sup>1)</sup> Zur weiteren Orientierung kann empfohlen werden Marx, Handbuch der Radiologie Bd. V, S. 495—520, sowie F. Rinne, Einführung in die kristallographische Formenlehre und Anleitung zu röntgenogrammetrischen Untersuchungen. 4./5. Auflage 1922, Verl. Jänecke, Leipzig.



24. Eine geeignete Einführung ist *H. E. Boeke*, Die Anwendung der stereographischen Projektion bei kristallographischen Untersuchungen, Berlin 1911, Borntraeger.
25. *S. H. E. Boeke*, Die gnomonische Projektion in ihrer Anwendung auf kristallographische Aufgaben, Berlin 1913, Borntraeger.

26. Vgl. *Th. Liebisch*, Geometrische Kristallographie, Leipzig 1881, Engelmann.
27. Vgl. *F. Rinne*, Elementare Anleitung.
28. *V. Goldschmidt*, Index der Kristallformen der Mineralien 1886, L, 15, s. a. *Bock*, 25, S. 23.
29. S. bei *H. E. Boeke* 25) S. 25, 24) S. 29.
30. Vgl. *E. Schiebold* 9) S. 13.

## Röntgenographische Bestimmung von Kristallanordnungen.

Von *M. Polanyi*, Berlin-Dahlem.

1. Die beiden wichtigsten Anwendungen der Laueschen Interferenzen sind Kristallbestimmung und Röntgenspektralanalyse.

Während diese Hauptgebiete heute schon eigene wissenschaftliche Zweige darstellen, ist die Verwendung von Röntgenstrahlen zur Bestimmung der *Anordnung* von Kristallen in kristallinen Massen noch kaum ausgenutzt worden. Es muß sich freilich erst zeigen, wie weit das Erscheinungsgebiet, das sich hier auftut, von Interesse ist.

Grundsätzlich ist es leicht einzusehen, daß man aus dem Röntgendiagramm einer kristallinen Masse auf die Art der Anordnung der Einzelkristalle schließen kann. Bekanntlich erzeugt ein Pulver, in dem die Kriställchen beliebig orientiert sind, nach *Debye* und *Scherrer* ein System von abgebeugten Strahlen, die in Form koaxialer Kegelmäntel aus dem beleuchteten Objekt austreten und auf einer Platte, die vertikal zur Strahlrichtung steht, ein System konzentrischer Kreise erzeugen. Herrscht im Kristallpulver eine bestimmte Ordnung, so sind nicht alle Lagen der Kriställchen gleichmäßig vorhanden, und es muß daher der entsprechende Teil des Debye-Scherrer-Diagrammes ausfallen.

Das Röntgendiagramm einer geordneten kristallinen Masse besteht also im allgemeinen aus Punkten und Streifen, deren geometrischer Ort die Debye-Scherrer-Kreise der fraglichen Kristallart sind.

Im einzelnen wird der Typus solcher Diagramme durch die *Art der Ordnung* bestimmt, die in der Masse vorherrscht. Die hauptsächlichste Rolle spielen unter diesen Anordnungen vorläufig solche, bei denen nur eine bestimmte Richtung des untersuchten Körpers ausgezeichnet ist. Das sind also *axiale* Anordnungen: Gruppierungen der Kriställchen um eine Achse.

Würde man einen Haufen würflicher Kristalle so ordnen, daß jeder Kristall mit vier Würfelflächen parallel zu einer gemeinsamen Achse steht, so wäre damit ein Fall jener einfachsten axialen Anordnung geschaffen, die wir wegen ihres Vorkommens in natürlich gewachsenen Faserstoffen *Faserstruktur* (1) nennen möchten.

Nach *Scherrer* (2) sowie *Herzog* und *Jancke* (3) besteht nämlich Zellulose aus Kriställchen, nach

letzteren beiden Forschern gilt dasselbe auch für Seide. Ferner ließ sich aus den Röntgendiagrammen, die die Kristallstruktur dieser Faserstoffe bewiesen haben, auch schließen, daß die Kriställchen in ihnen ähnlich geordnet sind, wie die Würfel in unserem Beispiele: daß also eine gewisse Hauptachse aller Kriställchen parallel zur Faserachse steht.

Allerdings sind diese ersten natürlichen Beispiele von Faserstrukturen etwas spezieller Art. Wir möchten den Begriff dieser Struktur ein wenig allgemeiner fassen und jede Anordnung Faserstruktur nennen, bei der die Kriställchen so liegen, daß die kristallographischen Richtungen, die der Achse parallel liegen, stets von einer bestimmten Art sind oder zumindest einer bestimmten Gruppe von *wenigen* kristallographischen Richtungen angehören. Im ersten Fall haben wir *einfache*, im letzteren Fall *mehrfache* Faserstruktur.

In unserem Beispiel der Würfelkriställchen können wir also eine Faserstruktur des Haufens auch dadurch erzeugen, daß wir die Kriställchen so stellen, daß in jedem einzelnen eine beliebige, in bezug auf den Würfel festgelegte Richtung z. B. die Würfeldiagonale, parallel zur gemeinsamen Achse steht. Das wäre einfache Faserstruktur. Zweifache Faserstruktur würde dem Haufen zukommen z. B., wenn die Kriställchen so lägen, daß ein jedes entweder mit einer Würfeldiagonale oder etwa mit einem Flächendiagonalenpaar parallel zur gemeinsamen Achse gerichtet wäre. Auch Fälle mehrfacher Faserstruktur sind, wie bei den hartgezogenen Drähten, von praktischer Bedeutung.

Daß eine kristallinische Masse Faserstruktur hat, erkennt man am Auftreten eines charakteristischen *Faserdiagrammes*. Ein Körper mit Faserstruktur erzeugt in monochromatischem Lichte auf einer zum Strahl senkrecht stehenden Platte ein Beugungsbild, das aus Punkten (bzw. Streifen) besteht, die den Durchstoßpunkt des Strahles in doppelt symmetrischer Anordnung umgeben. Die eine Symmetrieachse des Bildes steht in der Richtung der Faserachse, die andere senkrecht auf diese.

So erkennt man z. B., daß beim Hartziehen eines Cu-Drahtes Faserstruktur entsteht, durch

das Auftreten des in Fig. 2 dargestellten Faserdiagrammes an Stelle des in Fig. 1 gezeigten Debye-Scherrer-Diagrammes.

Wenn alle mit der Faserstruktur verträglichen Lagen auch wirklich vorhanden sind, so dürfen beim Drehen des Körpers um die Faserachse weder neue Punkte (Streifen) auftreten, noch solche verschwinden. Die Bedeutung dieser Einschränkung hat sich bei der Untersuchung von gewalzten Metallfolien erwiesen. Eine noch unveröffentlichte Untersuchung derselben mit K. Weissenberg ergab, daß in den doppelt-symmetrischen Streifendiagrammen, die man bei Durchleuchtung von Metallfolien vertikal zur Walzrichtung erhält, bei Drehung der Folie um diese Richtung (sowie auch um eine zu dieser senkrechten Richtung) bald neue Streifen auf-



Fig. 1.  
Diagramme von Kupferdraht  
unbearbeitet



Fig. 2.  
Diagramme von Kupferdraht  
hartgezogen.

tauchen, bald welche verschwinden. Das zeigt, daß hier nicht, wie bei Faserstruktur, eine kontinuierliche, nur in bezug auf eine Achse geordnete Mannigfaltigkeit von Lagen vorhanden ist, sondern daß überhaupt nur eine abzählbare Reihe von Kristalllagen vorkommt (4).

Hat man auf Grund der erwähnten Kennzeichen des Faserdiagramms festgestellt, daß ein solches vorliegt, so wird man trachten, die Einzelheiten der vorhandenen Faserstruktur noch näher aufzuklären, und zwar nach zwei Richtungen:

- a) ob einfache oder mehrfache Faserstruktur vorliegt;
- b) welche kristallographische Richtung (bzw. Richtungen) parallel zur Faserachse liegt.

2. Ein Beispiel für die Art, wie sich derartige Probleme behandeln lassen, bietet die gemeinsam mit M. Ettisch und K. Weissenberg ausgeführte Untersuchung hartgezogener Metalldrähte (5). Wir wollen hier zuerst das Ergebnis dieser Untersuchung mitteilen, dann den Weg andeuten, auf dem es gewonnen wurde.

Bisher sind hauptsächlich nur Metalle mit kubischem Gitter quantitativ untersucht worden. Dabei zeigte sich, daß Wo, Fe, Mo, die ein raumzentrisches Gitter haben, sich anders verhalten als die flächenzentrischen Metalle Cu, Pd, Al.

Bei der ersten Gruppe fand sich *einfache* Faserstruktur, derart, daß die Elementarwürfel der Kriställchen mit einem Flächendiagonalenpaar ([110]-Richtung) parallel zur Drahtachse liegen, eine Struktur, die man durch das Symbol an-

$[110] \parallel \mathfrak{D} \dots \dots \dots (1)$

wenn man mit  $\mathfrak{D}$  die Richtung der Drahtachse bezeichnet.

Nun sieht man ohne weiteres ein, daß, während bei ungeordneter Lage der Kriställchen im Drahtquerschnitt eine unbestimmte große Zahl verschiedener Netzebenenarten liegt, alle Querschnitte des harten Drahtes zufolge der Faserstruktur nur deren wenige bestimmte enthalten. *Im besondern Falle einfacher Faserstruktur liegt in jedem Drahtquerschnitt nur eine einzige Netzebenenart.*

Es ist leicht, diese Netzebenenart für den Fall der hartgezogenen Wo-, Fe- und Mo-Drähte anzugeben, wenn man davon ausgeht, was oben über

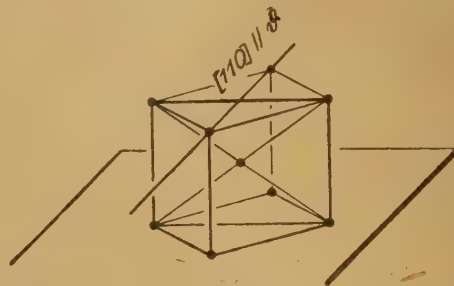


Fig. 3.  
〈110〉-Ebene im raumzentrierten Elementarwürfel

deren Faserstruktur gesagt worden ist. Die [110]-Richtung steht nämlich, wie man etwa aus Fig. 3 erkennt, vertikal auf der Rhombendodekaederfläche (〈110〉-Fläche). Aus der Beziehung

$$\langle 110 \rangle \perp \mathfrak{D} \dots \dots \dots (2)$$

m. a. W.: im Querschnitt liegen bloß Rhombendodekaederflächen.

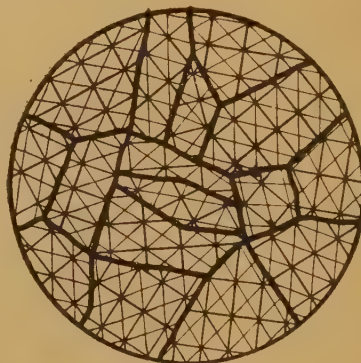


Fig. 4.  
Schemat. Querschnitt eines hartgezogenen Drahtes mit raumzentriertem Elementarwürfel.

Man kann sich diese Faserstruktur schematisch veranschaulichen durch die Fig. 3 und 4. Die erste zeigt die  $\langle 110 \rangle$ -Ebene im raumzentrierten Elementarwürfel als Rechteck mit ausgezogenen Diagonalen angedeutet. Die zweite zeigt einen schematischen Querschnitt durch einen harten Draht eines raumzentriert kubischen Metalles. Die dicht umrandeten, unregelmäßigen Felder sind Schnittflächen der einzelnen Kriställchen. Die Netze von Rechtecken mit ausgezogenen Diago-



nalen, die jedes dieser Felder überziehen, deuten an, daß die Netzebene, die im Querschnitt liegt, stets eine  $\langle 110 \rangle$ -Ebene ist.

Die Metalle mit flächenzentriertem kubischen Gitter, von denen Cu, Pd, Al untersucht wurden, zeigten im hartgezogenen Zustande *zweifache* Faserstruktur, und zwar so, daß die Elementarwürfel der Kriställchen entweder mit einer Raumdiagonale ( $[111]$ -Richtung oder mit vier Würfelkanten ( $[100]$ -Richtung) parallel zur Drahtachse liegen. Das Symbol dieser zweifachen Faserstruktur ist also:

$$[111] \parallel \mathfrak{D} + [100] \parallel \mathfrak{D} \dots \dots (3)$$

Diese zweifache Faserstruktur bedingt, daß in

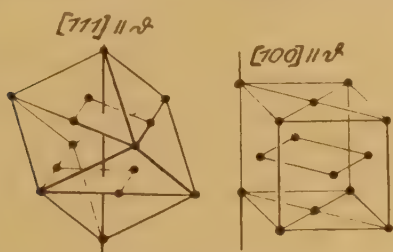


Fig. 5 und 6.

$\langle 111 \rangle$ -Ebene und  $\langle 100 \rangle$ -Ebene im flächenzentrierten Elementarwürfel.

jedem Drahtquerschnitt nur zwei Arten von Netzebenen zu liegen kommen. Man findet dieselben aus (3), indem man bedenkt, daß die Raumdiagonale des Würfels auf einer Oktaederfläche ( $\langle 111 \rangle$ -Fläche) vertikal steht und daß die Würfelkanten vertikal auf Würfelflächen ( $\langle 100 \rangle$ -Flächen) stehen. (Vgl. Fig. 5 und 6.) Es folgt daraus, daß im Drahtquerschnitt nur Oktaeder- und Würfelflächen liegen. Also:

$$\langle 111 \rangle \perp \mathfrak{D} + \langle 100 \rangle \perp \mathfrak{D} \dots \dots (4)$$

Fig. 5 und 6 zeigen die Lage der  $\langle 111 \rangle$ -Ebene und der  $\langle 100 \rangle$ -Ebene im Elementar-

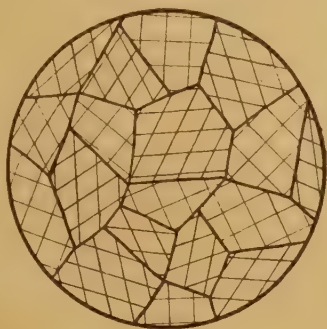


Fig. 7.

Schemat. Querschnitt eines hartgezogenen Drahtes mit flächenzentriertem Elementarwürfel.

würfel. Fig. 7 zeigt das Schema des Querschnittes in einem hartgezogenen Draht mit flächenzentriertem kubischen Elementarwürfel; entsprechend den beiden Kriställchengruppen, in denen  $\langle 111 \rangle$  bzw.  $\langle 100 \rangle \perp \mathfrak{D}$  liegt, zeigt eine Gruppe der Kriställchenquerschnitte das

Netz der  $\langle 111 \rangle$ -Ebene, die andere jenes der  $\langle 100 \rangle$ -Ebene.

Die *Untersuchungsmethode*, mit Hilfe deren diese Ergebnisse gewonnen wurden, läßt sich etwa folgendermaßen andeuten: Man betrachte zunächst den einfachen Fall der Wo-, Fe-, Mo-Drähte und vergegenwärtige sich, daß ein Drahtquerschnitt, in dem bloß Rhombendodekaederflächen liegen, röntgenographisch einer einzigen *zusammenhängenden Rhombendodekaederfläche* durchaus gleichwertig ist.

Nun kann man bekanntlich nach Bragg eine

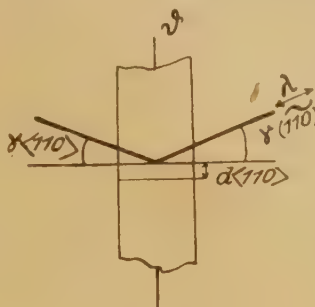


Fig. 8.

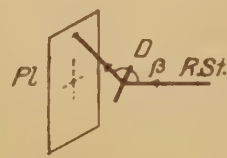


Fig. 9.

Versuchsordnung, um den Drahtquerschnitt zur Reflexion zu bringen.

bestimmte Kristallfläche dadurch erkennen, daß sie monochromatisches Röntgenlicht unter einem bestimmten Gleitwinkel  $\gamma$  reflektiert, sonst aber durchläßt. Der Winkel  $\gamma$  ist für jede Kristallflächenart charakteristisch und aus dem Netzebenenabstand  $D$  der entsprechenden Netzebenenart berechenbar. Für die zu den Rhombendodekaederflächen gehörigen Größen  $\gamma_{\langle 110 \rangle}$  und  $D_{\langle 110 \rangle}$  hat man z. B.:

$$\gamma_{\langle 110 \rangle} = \arcsin \frac{\lambda}{2 D_{\langle 110 \rangle}} \dots \dots (5)$$

wobei  $\lambda$  die Wellenlänge des Röntgenstrahles ist.

Der Querschnitt der hartgezogenen Drähte vom Typus Wo, Fe, Mo wird sich also dadurch auszeichnen, daß er Röntgenstrahlen, die unter dem Gleitwinkel  $\gamma_{\langle 110 \rangle}$  auftreffen, reflektiert, Strahlen unter anderen Winkeln durchläßt. Dieses Verhalten soll durch Fig. 8 veranschaulicht



Fig. 10.

Schematisches Diagramm eines hartgezogenen Drahtes mit raumzentriertem Elementarwürfel. Aufgenommen nach Anordnung gemäß Fig. 9 bei  $\beta = 90^\circ - \gamma_{\langle 110 \rangle}$ .

werden, die entsprechende Versuchsanordnung ist in Fig. 9 schematisch angegeben. Man erkennt leicht, daß der Winkel  $\beta$ , den der Draht ( $D$ ) mit dem Röntgenstrahl ( $R. St.$ ) einschließt, der Ergänzungswinkel zu  $\gamma_{\langle 110 \rangle}$  sein muß, wenn der

Querschnitt reflektieren soll. Man sieht, daß diesfalls auf der Platte (*Pl.*) in der Mittellinie ein Streifen auftritt, den man auch im schematischen Diagramm (oben in der Mittellinie) wiederfindet, das die Fig. 10 zeigt.

Prüft man auf diese Art den Querschnitt hartgezogener Drähte mit flächenzentrierten Gittern, so sieht man Reflexionen auftreten, wenn der Strahl unter den Gleitwinkeln  $\gamma_{\langle 111 \rangle}$  und  $\gamma_{\langle 100 \rangle}$  auf den Querschnitt auftrifft. Auf diese Weise ist die oben angegebene doppelte Faserstruktur dieser Drähte

$$\gamma_{\langle 111 \rangle} \perp \mathcal{D} + \gamma_{\langle 100 \rangle} \perp \mathcal{D}$$

festgestellt worden.

werden. In allen Fällen, wo man eine kristallinische Masse einer plastischen Veränderung unterwirft, wird man hiernach das Entstehen bestimmter Orientierungen, ein gewisses Einrenken der Kriställchen in vorgeschriebene Lagen erwarten.

Daß Derartiges nicht nur beim Hartziehen, sondern auch beim Walzen der Metalle vorkommt, ist bereits gesagt worden. Ein weiteres Beispiel liefert das Pressen kristallinischer Massen, das ebenfalls eine mehr oder weniger scharfe Faserstruktur der Masse herbeiführt (6). (Vgl. Fig. 11.)

Zu erwähnen ist übrigens auch die Feststellung, die wir in einigen Fällen mit Dr. K. Weißen-

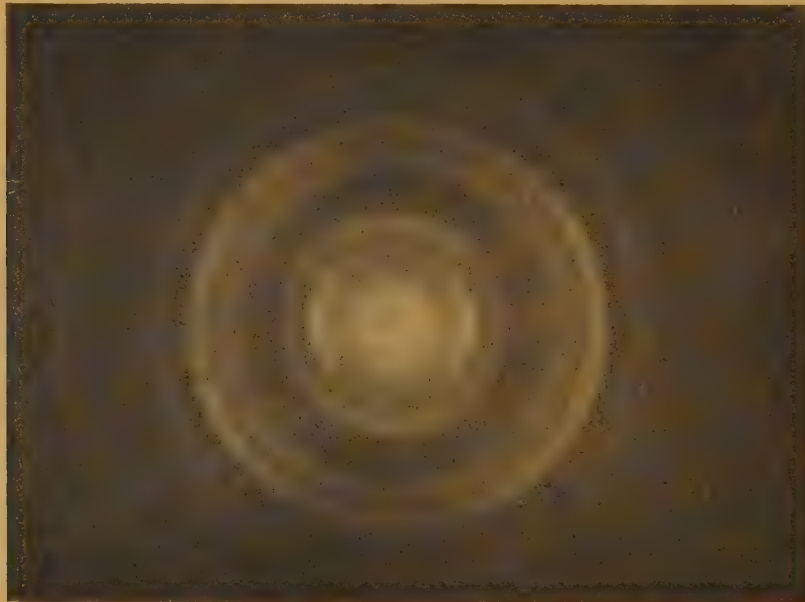


Fig. 11. Indigopulver in gepreßtem Zustande zeigt Auflösung der Debye-Scherrer-Kreise in Streifen als Zeichen von Faserstruktur.

Man sieht, daß sich in obigen Fällen stets die dichtest belegte Ebene quer zur Drahtachse stellt: am dichtesten ist nämlich im raumzentrierten Würfelgitter die  $\langle 110 \rangle$ -Fläche belegt, im flächenzentrierten die  $\langle 111 \rangle$ -Fläche.

Bei der zweifachen Faserstruktur der flächenzentrierten Metalle ist die Netzebene, die sich neben der dichtestbelegten Flächenart noch im Querschnitt vorfindet, bezeichnenderweise die zweitdichtest belegte Ebene, nämlich die  $\langle 100 \rangle$ -Fläche. Aus den Intensitätsverhältnissen läßt sich auch noch ablesen, daß die Kriställchen, die hier so liegen, daß  $\langle 111 \rangle$ -Flächen in den Querschnitt kommen, weniger zahlreich sind, als die Kriställchen, die mit  $\langle 100 \rangle$ -Flächen parallel zum Querschnitt liegen. Man sieht also, daß auch bei zweifacher Faserstruktur jene Kristallgruppe den Vorrang hat, bei der die dichtest belegte Ebene im Querschnitt liegt.

Was hier über die Struktur hartgezogener Drähte mitgeteilt worden ist, darf wohl mit Recht als Beispiel allgemeiner Erscheinungen aufgefaßt

berg gemacht haben, daß gewöhnliches Dehnen von Drähten auf die Orientierung ebenso einwirkt, wie Hartziehen durch Düsen.

Auch einige allgemeinere Fragestellungen, die sich hier anschließen, dürfen wohl angedeutet werden.

Vom Standpunkt der Kristallphysik wird man fragen, ob die beiden bisher bekannten Arten plastischen Kristalldeformationen, Translation und Zwillingsbildung, grundsätzlich ausreichend sind, um eine Neuorientierung der Kristalle zu erklären, die man ohne Drehbewegungen des Gitters nicht verstehen kann? Es lassen doch sowohl Translation wie Zwillingsbildung bloß Parallelverschiebungen zu.

Jedenfalls wird man ferner den Orientierungswechsel der Kriställchen, den die plastische Formänderung herbeiführt, mit ihrer verfestigenden Wirkung in Beziehung bringen wollen. Sollte etwa die Formänderung überhaupt nicht ohne eine bestimmte Gitterdrehung vor sich gehen können, daher aufhören, wenn diese vollendet sind?



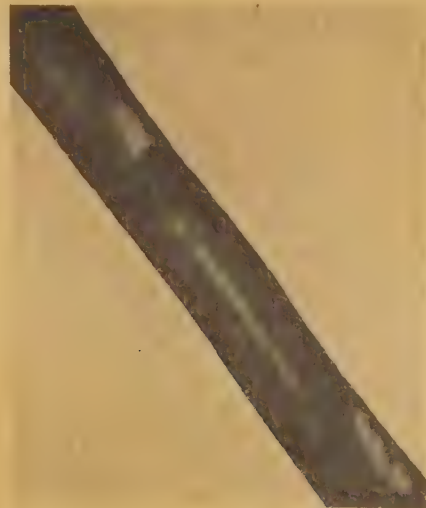


Fig. 12.

Zum flachen Band gedehnter Kristall, an beiden Enden an spröde Kristalle anstoßend (ca. 5fache Vergr.).  
Fig. 12a in Richtung der Bandfläche gesehen. (Einschnürung.)  
Fig. 12b vertikal zur Bandfläche gesehen. (Keine Einschnürung.)



Fig. 13.

Zum zylindrischen Draht gedehnter Kristall, an beiden Enden an flache Kristallbänder stoßend (ca. 5fache Vergr.).

Fig. 13a vertikal zur Fläche der bandförmigen Kristalle gesehen. (Einschnürung.)

Fig. 13b in Richtung der Bandfläche der bandförmigen Kristalle gesehen. (Keine Einschnürung.)

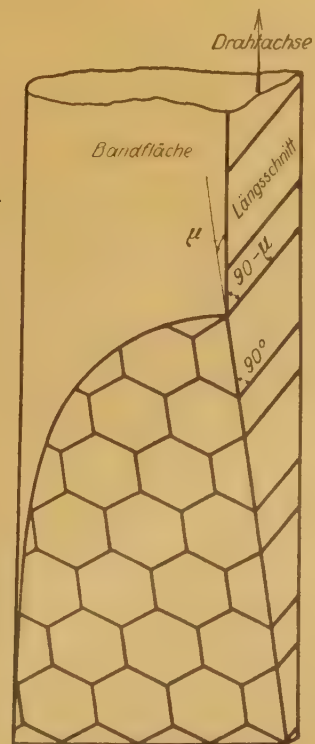


Fig. 14.

Schema der Gitterorientierung in flachgedehnten Kristallen. Der Kristall von der flachen Seite gesehen. Zwei Schnitte legen die Gitterstruktur frei. Der eine Längsschnitt führt entlang des Drahtes vertikal zur Bandfläche und enthält die hexagonale Achse. Der andere steht vertikal zur hexagonalen Achse, und daher schief zur Drahtachse unter dem Winkel  $\mu$ .

3. Zur Diskussion dieser Fragen wird man Versuche an möglichst einfachem Material, unter möglichst einfachen Umständen wünschen. Zweckmäßig erscheint daher, *einzelne Kristalle zu dehnen* und die Gitterbewegung, die damit einhergeht, zu beobachten.

Zur Untersuchung dienten drahtförmige Zn-Kristalle, die Herr E. v. Gomperz in unseren Laboratorium hergestellt hat, insbesondere solche von der Art, die er als „dehnbare Drähte“ bezeichnet hat (7).

Solche Kristalle lassen sich bis auf das 5- bis 6fache ausziehen. Dabei bleibt ein Durchmesser nahezu unverändert, so daß der ursprünglich kreisförmige Querschnitt zur Ellipse wird und der ursprünglich zylindrische Draht zum flachen Bande. Am besten läßt sich das zeigen an einer Stelle, wo ein dehnbarer Kristall an seinen beiden Enden an zwei spröde (nichtdehnbare) Kristalle anstößt. Photographiert man eine solche Stelle nach der Dehnung einmal in Richtung der Bandfläche und einmal vertikal zu derselben, so erhält man Bilder, wie sie Fig. 12 a und b zeigen.

Wenn diese bandförmigen Drähte bei weiterer Längsanzugspannung nicht zerreißen, sondern sich weiterdehnen, so erfolgt dies unter erneuter Änderung der äußeren Form. Wieder bleibt ein Durchmesser unverändert, und zwar diesmal der *kurze* Durchmesser des elliptischen Querschnittes: das flache Band schnürt sich zum zylindrischen Faden zusammen (8). Fig. 13 a und b zeigen zwei Ansichten einer solchen Einschnürungsstelle, einmal vertikal zur Bandfläche und einmal in Richtung derselben.

Die Frage, ob und wie die Orientierung des Kristallgitters bei diesen Vorgängen wechselt, könnte, da es sich hier um Einzelkristalle handelt, grundsätzlich auch mit den gewöhnlichen kristallographischen Methoden angegangen werden. Praktisch würden diese aber kaum zum Ziel führen, da solche Stützpunkte, wie Kristallflächen, Spaltlinien usw. hier meist fehlen. Es kommt hier also wieder die röntgenographische Methode der Ordnungsbestimmung zur Geltung. Am besten verwendet man wohl auch diesmal ein Faserdiagramm, das man durch *Drehen* des Kristalls erzeugt. Für den Röntgeneffekt ist es natürlich gleichgültig, ob gewisse Lagen *nacheinander* oder *gleichzeitig* auftreten: Drehen eines Kristalles erzeugt also dasselbe Bild, wie eine axial geordnete (also faserstruierte) Mannigfaltigkeit von Kriställchen (9).

Auf diese Weise ist bisher in einer noch unveröffentlichten Untersuchung mit Herrn E. v. Gomperz folgendes gefunden worden:

1. Das Gitter der dehnbaren Drähte hat bei verschiedenen Drähten wechselnde Orientierung in bezug auf die Drahtachse.

2. In den zum flachen Band ausgezogenen Drähten steht das Kristallgitter annähernd so,

wie es die Fig. 14 durch Hervorheben der hexagonalen Prismen andeutet. Der Winkel  $90^\circ - \mu$ , den die hexagonale Achse mit der Drahtachse einschließt, wechselt von  $72^\circ$  bis  $80^\circ$ .

3. In dem zylindrischen Faden, der durch Dehnen des flachen Bandes entsteht, besteht die gleiche Gitterorientierung, wie beim flachen Bande.

Es gelingt also in der Tat, den durch plastische Deformation bedingten Orientierungswechsel in Kristallgittern auch im einfachsten Falle wieder zu finden, wenn ein Einzelkristall gedehnt wird. Bei der Dehnung dreht sich das Kristallgitter in typischer Weise herum und gelangt hierdurch in ganz bestimmte Lage zur Dehnungsachse.

Daß sich beim Dehnen der einzelnen Kristalle derselbe Vorgang abspielt, der beim Recken der gewöhnlichen kristallinen Drähte eine Rolle spielt, scheint uns durch unseren Befund bewiesen, daß bei *Dehnung gewöhnlicher Zn-Drähte dieselbe Gitterorientierung relativ zur Drahtachse entsteht*, wie bei Dehnung der Einzelkristalle: die hexagonalen Basisflächen der Kriställchen stellen sich ganz ähnlich wie in Fig. 14 ein.

Die Verhältnisse gestalten sich also anscheinend so übersichtlich, daß man wohl hoffen darf, durch weitere Anwendung der Röntgenographie die Beziehungen zwischen Formänderung und Gitterbewegung festlegen zu können. Die unvergleichliche Schärfe der Laueschen Methode erlaubt also auch auf diesem Gebiete mühelos vorzudringen bis zu den Grundbausteinen der Materie und ihr Spiel zu beobachten.

#### Literatur.

1. Vgl. R. O. Herzog, W. Jancke, M. Polanyi, Ztschr. f. Phys. 4, 61 (1921); M. Polanyi, „Die Naturwissenschaften“ 9, 288, 337 (1921); Ztschr. f. Phys. 7, 149 (1921); M. Polanyi und K. Weissenberg, Ztschr. f. Phys. 9, 123 (1922).
2. P. Scherrer in Zsigmondy, Kolloidchemie, 3. Aufl. (1920), S. 408.
3. R. O. Herzog und W. Jancke, Ber. d. D. Chem. Ges. 53, 2162 (1921); Ztschr. f. Phys. 3, 343 (1920); Festschrift der Kais.-Wilh.-Gesellschaft S. 62 (1921).
4. Bez. Diagramme gewalzter Folien vgl. Hupka, Phys. ZS. 14, 623 (1913); K. E. Schmidt, Phys. ZS. 17, 554 (1916); Nichikawa und Ashara, Phys. Rev. 15, 38 (1920). Die richtige Deutung findet sich zuerst bei: K. Weissenberg, Elektrotechnische ZS. (1921).
5. M. Ettisch, M. Polanyi und K. Weissenberg, ZS. f. Phys. 7, 181 (1921); ZS. f. phys. Chemie 99, 332 (1921).
6. K. Becker, R. O. Herzog, W. Jancke, M. Polanyi, ZS. f. Phys. 4, 61 (1921).
7. E. v. Gomperz, ZS. f. Phys. 8, 184 (1922).
8. Die Erscheinung, daß Metallkristalle bei Dehnung flach werden, wobei ein Durchmesser annähernd konstant bleibt, hat E. v. Gomperz bereits in seiner zitierten Arbeit an Zn-Kristallen beschrieben. Gleichzeitig ist ein ähnlicher Effekt bei Al-Kristallen gefunden worden von H. C. H. Carpenter und C. F. Elam. (Proc. Roy. Soc. 100, 329 (1921).)
9. Vgl. auch E. Schiebold, ZS. f. Phys. 9, 180 (1922).



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 17. (Seite 417—440)

28. April 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Besteht ein genetischer Zusammenhang zwischen dem eingeatmeten Sauerstoff und dem Sauerstoff der ausgeatmeten Kohlensäure? Von *Torsten Thunberg, Lund.* S. 417.

Über Hörsamkeitsstudien. Von *E. Michel, Hannover.* S. 420.

Der mathematische Kern der Außenwelthypothese. Von *Karl Gerhards, Aachen.* (Mit 5 Abbild.) S. 423.

### Besprechungen:

Mauß, O., Beiträge zur Morphologie des Peloponnes und des südlichen Mittelgriechenlands. Von *K. Oestreich, Utrecht.* S. 430.

Kofoed, Charles Atwood, and Olive Swezy, The free-living unarmored Dinoflagellata. Von *Br. Schröder, Breslau.* S. 432.

### Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Gustav Lilienthals Erklärung des Segelfluges. Von *Oskar Prochnow, Berlin.* S. 432.

v. Kármáns Erklärungen des Segelfluges. Von *Gustav Lilienthal, Berlin.* S. 432.

Erwiderung. Von *Th. v. Kármán, Aachen.* S. 433.

Gesundheitsschädlichkeit der Magnetwechsel-

felder. Von *L. Fleischmann, Berlin.* S. 434.

Zum Einstein-Film. Von *M. v. Laue, Berlin.* S. 434.

Botanische Mitteilungen. S. 435—437.

Die rheinischen Hieracien. Die wasserlöslichen Farbstoffe der Schizophyceen. Über die Befruchtungsvorgänge bei homosporigen Farnen. Heterogamie im weiblichen Geschlecht und Embryosackentwicklung bei den Oenotheren. Rhythmische Fällungserscheinungen in pflanzlichen Zellmembranen. Wachstumserscheinungen und hydrotropische Krümmungen bei *Phycomyces nitens*.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten. S. 437—440.

Einiges aus der neuern Pigmentforschung, speziell über das Ergrauen der Haare. Über Abhängigkeit der Kernteilungen von äußeren Faktoren. Neue Lehrbücher der Entwicklungsgeschichte.

Astronomische Mitteilungen. S. 440.

Der Abstand des kugelförmigen Sternhaufens M5. Berichtigung. S. 440.

# GOERZ

## TRIÄDER BINOCLE



für

Reise, Sport, Jagd.

Zu beziehen durch die optischen  
Geschäfte.

Man verlange reich illustrierten  
Katalog.

Optische Anstalt C. P. Goerz Aktien-Gesellschaft, Berlin - Friedenau 45

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 60.— für das zweite Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 6.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postscheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 2020 Julius Springer,  
für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius  
Konten: Springer.

Im Außeninstitut der Technischen Hochschule Berlin werden im kommenden Sommersemester folgende Vorträge gehalten:

**Messung hoher Temperaturen.** Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Kurlbaum.

5 D. Std. im Hörsaal des Physikal. Institutes der Technischen Hochschule.  
Mittwochs von 6—8. Beginn 14. Juni 1922. Honorar Mk. 150.—.  
Karten vom 1. Mai 1922, 11—12 Uhr im Chemiegebäude Nr. 216.

**Maß und Messen in der Technik.** Prof. Dr. Berndt.

8 D. Std. Hörsaal 213 des Photochem. Laboratoriums im Chemiegebäude.  
Montags 5—7. Beginn 8. Mai 1922. Honorar Mk. 240.—. Studierende die Hälfte.  
Karten täglich 11—12 im Chemiegebäude Nr. 216.

**Polarisationsapparate u. ihre Verwendung**

Dr. Hans Schulz. 8 D. Std. Dienstags 7—9. Beginn 9. Mai 1922.  
Honorar Mk. 240.—. Karten 11—12 im Chemiegebäude Nr. 216.

**Atomtheorie und chemische Isotopie.** Dr. Stumpf.

8 D. Std. Mittwochs 6—8. Beginn 10. Mai 1922. Honorar Mk. 240.—.  
Karten 11—12, Chemiegebäude Nr. 216.

**Einführung in die Theorie der konformen Abbildung mit Anwendung auf Geometrie, Physik und Technik.** Prof. Dr. Wallenberg.

10 D. Std. Donnerstags 6—8. Beginn 4. Mai 1922. Saal 259.  
Honorar Mk. 100.—. Karten beim Hauptpförtner und in Zimmer 231.  
Für Studienräte und Lehramtskandidaten ermäßigte Karten nur bei der Kasse der preußischen Hauptstelle, Berlin, Potsdamer Str. 120.

**Bautechnische Gesteinsuntersuchungen.**

Prof. Dr. Tannhäuser. 8 D. Std. Beginn Anfang Mai. Zeit nach Vereinbarung. Schriftliche Anmeldung beim Vortragenden. Honorar Mk. 160.—.

**Einführung in die Vermessungskunde mit Übungen.** Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Hausmann.

6 D. Std. Mittwochs 5—7. Beginn 17. Mai 1922. Ort: Institut für Vermessungskunde, Hauptgebäude Nr. 14. Honorar Mk. 100.—. Anmeldung beim Vortragenden. Ermäßigte Karten für Studienräte u. Lehramtskandidaten nur bei der Kasse der preußischen Hauptstelle, Berlin, Potsdamer Str. 120.

Deutsche Studierende erhalten für sämtliche Vorträge Nr. 1—7 Karten zu halben Preisen. Es wird besonders darauf aufmerksam gemacht, daß diese Vorlesungen ohne weitere Formalität von jedermann besucht werden können.



# DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zehnter Jahrgang.

28. April 1922.

Heft 17.

## Besteht ein genetischer Zusammenhang zwischen dem eingeatmeten Sauerstoff und dem Sauerstoff der ausgeatmeten Kohlensäure?

Von Torsten Thunberg, Lund.

Die beiden Fragen, erstens: wohin nimmt der eingeatmete freie Sauerstoff schließlich seinen Weg, welches sind also seine Endprodukte?, zweitens: woher stammt der Sauerstoff, der in der ausgeatmeten Kohlensäure enthalten ist? dürften der geläufigen physiologischen Auffassung nach, wenn man überhaupt von einer solchen sprechen kann, auf folgende Weise beantwortet werden. Das wichtigste Endprodukt des aufgenommenen Sauerstoffs wird durch die Kohlensäure repräsentiert. Nur ein geringerer Teil desselben wird in Wasser umgewandelt. Das Verhältnis zwischen dem Teil des aufgenommenen Sauerstoffs, der sich in der ausgeatmeten Kohlensäure wiederfindet, und dem Teil, der in Wasser übergeht, spiegelt sich einigermaßen in dem respiratorischen Quotienten wieder. Ist der respiratorische Quotient = 1, wie bei Verbrennung von Kohlehydrat, so bedeutet dies, daß der aufgenommene Sauerstoff nach einer gewissen Zeit sich in dem Sauerstoff wiederfindet, den die ausgeatmete Kohlensäure enthält. Eben der Name Kohlehydrat verführt leicht zu einer solchen Auffassung. Das zweite Wortglied Hydrat erzeugt gern die Vorstellung, daß in diesen Stoffen ein bestimmter Zusammenhang zwischen dem Sauerstoff und dem Wasserstoff vorhanden ist, als wenn der Wasserstoff in schon oxydierter Form anwesend wäre, während der Kohlenstoff noch unoxydiert ist. Bei niedrigerem respiratorischen Quotienten wird der Anteil des aufgenommenen Sauerstoffs, der sich in der ausgeatmeten Kohlensäure wiederfindet, entsprechend kleiner.

Zu einer ganz anderen Auffassung betreffs der Genese des Sauerstoffs, den die ausgeatmete Kohlensäure enthält, gelangt man, wenn man von einer von mir neulich formulierten Auffassung ausgeht, nach welcher der Wasserstoff als das elementare, gemeinsame Brennmaterial der Zellen zu betrachten ist (siehe Skand. Arch. f. Physiologie Bd. XL, S. 91, 1920).

Allmählich ist in der Physiologie die Auffassung durchgedrungen, daß der Zucker, die Fettsäuren und die aus dem Eiweiß durch hydrolytische Spaltung entstehenden Aminosäuren nicht auf einmal oxydiert, sondern daß während der Oxydation eine ganze Reihe Zwischenstadien passiert werden, bevor es zur Bildung der Endprodukte, insbesondere Kohlensäure, Wasser und

Harnstoff, kommt. Betreffs der Art der Zwischenprodukte hat dagegen lange keine Einigkeit erzielt werden können. Alles deutet jedoch darauf hin, daß der Weg hierbei erheblich anders ist, als man ihn sich lange gedacht hat. So dürften, um ein Beispiel zu nehmen, die beiden Stoffe Bernsteinsäure und Fumarsäure, die noch vor zehn Jahren nicht als Stoffwechselprodukte angesehen wurden, gemäß einer von mir zuerst ausgesprochenen Auffassung, die dann verschiedenerseits Zustimmung gefunden hat, eine wichtige Rolle als solche spielen. Vieles spricht dafür, daß eine so wichtige Aminosäure wie die Glutaminsäure ihrem Zerfall über Ketoglutarsäure, Bernsteinsäure und Fumarsäure entgegengeht.

Zu meiner Auffassung, daß diese beiden letztgenannten Stoffe eine wichtige Rolle bei dem intermediären Stoffwechsel spielen, gelangte ich während des Studiums der Veränderungen, die der Gasaustausch des überlebenden Muskels bei Zusatz der fraglichen Stoffe erfährt. Es ist auch danach von Einbeck (Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. XC, S. 301, 1914) nachgewiesen worden, daß diese Stoffe normale Bestandteile der vollkommen gesunden Muskulatur sind, wie man das von Stoffen erwarten muß, die normale Zwischenprodukte beim Stoffwechsel repräsentieren. Einbeck hat auch gezeigt, daß die Bernsteinsäure vom Organismus unter Bildung von Fumarsäure umgesetzt wird.

An der Hand der bisher üblichen Oxydationstheorien war nun eine derartige Umsetzung sehr schwer begreiflich, und als eine neue Auffassung im Jahre 1913 von dem Chemiker Wieland betreffs gewisser Oxydationsprozesse zum Ausdruck gebracht wurde, hielt ich es für angezeigt, zu untersuchen, ob sie auf die Umwandlung der Bernsteinsäure in Fumarsäure anwendbar sei.

Die Oxydation kommt nach Wielands Theorie in der Weise zustande, daß der Wasserstoff in den organischen Verbindungen unter der Einwirkung von Katalysatoren aktiviert wird. In dieser aktivierten Form kann er von gewöhnlichem Sauerstoff bei niedriger Temperatur oxydiert werden und läßt sich bei Abwesenheit von Sauerstoff mit Stoffen nachweisen, die für aktiven Wasserstoff empfindlich sind, z. B. mit Methylenblau, das unter Aufnahme von Wasserstoff entfärbt wird.

Als ich Wielands Oxydationstheorie mit Rücksicht auf das spezielle Problem, das mir vorlag, einer Prüfung unterzog, hatten die mit den physiologischen Oxydationserscheinungen bis dahin beschäftigten Forscher noch nicht Stellung zu ihr genommen. Nur Bach hatte sich in der Sache

geäußert und gegen die Wielsandsche Theorie Einwände, teils aus chemischem, teils aus biologischem Gesichtspunkt, erhoben. Vom chemischen Gesichtspunkt aus sollte nach *Bachs* Ansicht einzuwenden sein, daß die von *Wieland* bei Abwesenheit von Sauerstoff erhaltenen Resultate durch die Annahme einer Spaltung von Wassermolekülen erklärt werden könnten, die dabei teils reduzierende, teils oxydierende Atomgruppen liefere. *Bach* hielt auch *Wielsands* physiologische Versuchsobjekte, lebende oder mittels Azetonäther getötete Essigsäurebazillen, für wenig geeignet, die diesbezüglichen Fragen zu entscheiden. Reine Enzymlösungen waren seiner Ansicht nach hierzu notwendig. Die Anwendbarkeit der Wielsandschen Theorie auf den intermediären Abbau der Nährstoffe sollte auch aus dem Grunde durchaus nicht gegeben sein, weil die Theorie, wie *Wieland* selbst kräftig betont, nicht die Totalität der Oxydationserscheinungen erklären könne und auch nicht dazu bestimmt sei.

Was nun die Umwandlung der Bernsteinsäure in Fumarsäure unter Einwirkung der Muskelsubstanz betrifft, so wies ich 1916 nach, daß sie unter Aktivierung von Wasserstoff stattfand. Der Beweis wurde unter Anwendung von Methylenblau als Reagens auf aktivierten Wasserstoff geführt. Bei Abwesenheit von Sauerstoff entfärbt nämlich ein System, bestehend aus dem auf Bernsteinsäure eingestellten Muskelenzym, Bernsteinsäure und Methylenblau, den letztgenannten Stoff. Die Entfärbung bedeutet eben eine Addition von aktivem Wasserstoff zum Methylenblau-molekül. Es gelang mir auch, für den Verlauf bei der Umwandlung der Bernsteinsäure in Fumarsäure nachzuweisen, daß *Bachs* Einwand gegen die Wielsandsche Theorie nicht gut richtig sein konnte, was durch eine Analyse der verschiedenen Art und Weise geschah, wie Cyankalium die Reaktion einerseits in dem System Bernsteinsäure, Enzym und Sauerstoff, andererseits im System Bernsteinsäure, Enzym und Methylenblau beeinflusst. Die erstere Reaktion wird durch Cyankalium gehemmt, die letztere nicht. Von der ersteren läßt sich daher nicht gut denken, daß sie als ein Partialprozeß in die letztere Reaktion eingeht, was der Fall sein müßte, wenn der *Bachsche* Einwand richtig wäre. Die Umwandlung der Bernsteinsäure in Fumarsäure bei Gegenwart von Methylenblau kann daher nicht unter Eingreifen von Sauerstoff geschehen, sondern muß als in einer direkten Überführung des Wasserstoffs auf das Methylenblau bestehend gedacht werden.

Nachdem ich mich auf diese Weise von der Anwendbarkeit der Wielsandschen Oxydationstheorie auf eine wichtige Reaktion aus dem Gebiet des intermediären Stoffwechsels überzeugt hatte, dehnte ich meine Untersuchungen auf eine Anzahl anderer Stoffe aus, über deren Charakter als intermediäre Stoffwechselprodukte kein Zweifel herrschen konnte. Erwähnt seien besonders

Milchsäure,  $\beta$ -Oxybuttersäure, Glutaminsäure. Auch für diese wies ich nach, daß ihre Umwandlung unter Bildung von aktivem Wasserstoff geschieht.

Unter solchen Verhältnissen schien mir die Zeit gekommen, als Arbeitshypothese eine *Allgemeinauffassung betreffs des Verlaufs des intermediären Stoffwechsels* zu formulieren.

Gemäß dieser Auffassung geschieht der *Abbau der Nährstoffe* während einer *Serie aufeinanderfolgender Dehydrogenisierungen*, besorgt durch eine Serie dehydrogenisierender Enzyme, deren jedem ein bestimmtes Tätigkeitsgebiet zukommt. Man kann die Behandlung, die das zusammengesetzte Molekül auf diese Weise erfährt, mit dem vergleichen, was in modernen Werkstätten stattfindet, wo die Metallmasse, die bearbeitet werden soll, auf Schienen zwischen einer Serie Arbeiter hingeleitet, von denen ein jeder einen bestimmten Teil der Bearbeitung leistet, bis das Endresultat erreicht worden ist.

Der Wasserstoff, der von den dehydrogenisierenden Enzymen abgespalten wird, wird bei Gegenwart von Sauerstoff auf diesen Stoff unter Bildung von Wasser übergeführt. (Besonders mit Rücksicht darauf, daß dieser Wasserstoff in gewisser Ausdehnung wohl auch zur Einführung von Wasserstoff in mehr zusammengesetzte Moleküle angewandt werden könnte, habe ich als gemeinsamen Namen für diese Enzyme die Bezeichnung „Hydrogenotransportasen“ eingeführt.)

Außer durch diese Serie wasserstoffabspaltender Prozesse wird der oxydative Abbau der Nährstoffe durch zwei weitere Prozesse charakterisiert, nämlich durch *Wasseraddition* und durch *Kohlensäureabspaltung*. Durch die Wasseraddition (Hydrierung oder vielleicht besser „Hydatisierung“, von hydor, Gen. hydatos, dem griechischen Wort für Wasser, da man ja mit Hydrierung oft Wasserstoffaddition, nicht nur Wasseraddition meint) wird das intermediäre Produkt mit 2 Atomen Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff bereichert. Die nun einsetzende Dehydrogenisierung bringt eine Abspaltung von zwei weiteren Atomen Wasserstoff mit sich, und als Resultat wird ein Produkt erhalten, das teils im Vergleich mit dem Ausgangsmaterial reicher an Kohlenstoff und Sauerstoff und ärmer an Wasserstoff ist, teils eine Verschiebung des Gehalts an Kohlenstoff und Sauerstoff zugunsten des letzteren Grundstoffs zeigt. Durch die eben erwähnte Kohlensäureabspaltung wird die Kohlehydratkette mehr und mehr verkürzt.

Die sämtlichen Prozesse, die hier als typisch für den oxydativen Abbau der Nährstoffe vorausgesetzt werden, sind in Spezialfällen direkt beobachtet worden.

Die Dehydrogenisierung der Bernsteinsäure zu Fumarsäure (*Einbeck*) ist bereits erwähnt worden. *Batelli* und *Stern* haben ferner gefunden, daß Fumarsäure durch Wasseraddition unter



Einwirkung eines wasseraddierenden Enzyms in Apfelsäure umgewandelt wird (ein Umstand, der für die Frage der schließlichen Umwandlung der Fumarsäure sehr willkommen ist; man braucht nach dieser Entdeckung nicht mehr ihre Dehydrogenisierung zu Azetylendicarbonsäure in Betracht zu ziehen). Selbst zeigte ich bereits 1910, daß, wenn man Muskulatur mit apfelsauren Salzen versetzt, aus diesen Kohlensäure abgespalten wird, und zwar auch bei Abwesenheit von Sauerstoff. (Dasselbe ist auch mit Fumarsäure der Fall, eventuell aber ist die Fumarsäure vorher teilweise in Apfelsäure unter Aufnahme von Wasser umgewandelt worden.)

Bei der Auffassung des intermediären Stoffwechsels, die hier vorgelegt wird, ist es der aktuelle oder potentielle Wasserstoffgehalt, durch den die Nährstoffe an ihm teilnehmen. Für diese Stoffe spielt der Kohlenstoff in der Kohlenstoffkette dieselbe Rolle hinsichtlich des Wasserstoffs wie die Schnur des Perlenbandes für die Perlen, die auf derselben aufgezogen sind. Trotzdem bei dem oxydativen Abbau der Stoffe der Kohlenstoff niemals direkt oxydiert wird, werden doch seine Verbrennungswärme und sein Energieinhalt durch Wasseraddition und darauffolgende Abspaltung und Verbrennung des Wasserstoffs freigemacht. Für das energetische Gesamtergebnat ist ja der Verbrennungsweg gleichgültig.

Betrachtet man den Stoffwechsel aus diesem Gesichtspunkt, so ergibt sich damit auch die prinzipielle Übereinstimmung zwischen den (gewöhnlichen, Kohlenstoffketten enthaltenden Nährstoffen und solchen ungewöhnlichen Nährstoffen wie Schwefelwasserstoff und Ammoniak, die Beggiatoa bzw. Nitrosomonas als Atmungsmaterial dienen. Und auch nicht direkt wasserstoffhaltiges Atmungsmaterial kann durch Wasseraddition Wasserstoffgehalt erhalten und dann seinen Wasserstoff zur Verbrennung liefern. Diese Möglichkeit verdient mit Rücksicht auf die Verbrennung z. B. von Nitriten, schwefelsauren Salzen und Ferrosalzen untersucht zu werden. Auch in diesen Fällen ist es dann Wasserstoff, der den Zellen als Atmungsmaterial dargeboten wird, wenn auch der Wasserstoff nicht wie gewöhnlich auf einer Kohlenstoffkette aufgereicht ist, sondern in Verbindung mit Schwefel, Stickstoff usw. dargeboten wird. (In diesem Zusammenhang dürfte auf die Erwünschtheit weiterer Untersuchungen über das eventuelle Vermögen verschiedener Zellen, freien, elementaren Wasserstoff anzugreifen und anzuwenden, hinzuweisen sein. Man dürfte es allgemein als eine wenigstens fast ausnahmslose Regel betrachten, daß die Zellen elementaren Wasserstoff nicht angreifen können. An und für sich ist dies wenig eigentümlich, da derartiger Wasserstoff der großen Mehrzahl von Organismen unter natürlichen Verhältnissen nie zur Verfügung steht und eine Anpassung der Organismen behufs Aus-

nutzung derartigen Wasserstoffs daher nie hat geschehen können.)

Nach diesen vorbereitenden Bemerkungen kehre ich zur Beantwortung der zu Beginn dieses Artikels aufgestellten Fragen über die Endprodukte des Sauerstoffs und die Genese des in der ausgeatmeten Kohlensäure vorhandenen Sauerstoffs zurück. Die Antwort ist, was das Schicksal des Sauerstoffs betrifft, offenbar die, daß er zur Oxydierung des Wasserstoffs verwendet wird, der unter der Einwirkung der Dehydrogenasen oder „Hydrogenotransportasen“ in aktiver Form zur Verfügung gehalten wird. *Der eingeatmete Sauerstoff wird also in Wasser umgewandelt.*

Hierbei hat man sich indessen zu denken, daß, was zuerst oder wenigstens in größter Ausdehnung gebildet wird, Wasserstoffsuperoxyd ist, als das natürlichste Kombinationsprodukt zwischen dem Wasserstoff und dem vorhandenen Sauerstoff. Dies bedeutet indessen, daß der Sauerstoff nur zur Hälfte ausgenutzt wird, und die Gegenwart eines das Wasserstoffsuperoxyd spaltenden Enzyms, der Katalase, wodurch unter Wasserbildung die Hälfte des Sauerstoffs zu neuer Anwendung als Wasserstoffakzeptor freigemacht wird, ist unter solchen Verhältnissen leicht begreiflich. Die Katalase ist also nach dieser meiner Auffassung nicht so sehr als ein giftneutralisierendes, sondern vielmehr als ein „ökonomisierendes“ Enzym zu betrachten. Schon in der Mitteilung, die ich 1917 in Skand. Arch. f. Physiologie in dieser Sache veröffentlichte, betonte ich, daß man auf diese Weise auch eine Erklärung über die Armut an Katalase bei Organismen erhielt, die auf ein Leben ohne Sauerstoff eingestellt sind. Wenn kein Sauerstoff angewandt wird, liegt kein Anlaß vor, mit demselben ökonomisch umzugehen. — Zu derselben Schlußfolgerung betreffs der ökonomisierenden Bedeutung der Katalase ist Wieland in seiner letzten Mitteilung (Ber. deutsch. chem. Ges. 54, 1921, S. 2375) gekommen.

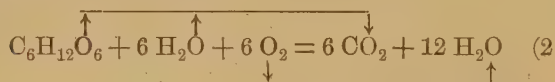
Was die ausgeatmete Kohlensäure betrifft, so haben wir uns die Quelle des in ihr enthaltenen Sauerstoffs nicht in dem eingeatmeten Sauerstoff zu denken, sondern der Sauerstoff der Kohlensäure rührt von anderen Quellen her. Teils repräsentiert er Sauerstoff, der von Anfang an in den Molekülen der Nährstoffe vorhanden ist, und der in seiner Bindung mit dem Kohlenstoff in der Kohlenstoffkette übrig bleibt, wenn der Wasserstoff aus dieser durch die Dehydrogenasen herausgezogen wird. Teils rührt er von Wassermolekülen her, die zu der Kohlenstoffkette addiert worden sind, besonders an den Stellen der Doppelbindungen, die bei den Dehydrogenisierungen oder z. B. bei der Umwandlung der Aldehydgruppen in Aldehydhydrate entstehen. Nichts hindert, daß die so addierten Wassergruppen durch den Atmungssauerstoff und den Wasserstoff des Nährstoffs gebildet worden sein können.

Aber das so entstandene Wasser repräsentiert eine so unbedeutende Fraktion des ganzen Wasservorrats, daß die Wahrscheinlichkeit hierfür die geringere ist.

Es mögen in diesem Zusammenhang einige Bemerkungen zu der gewöhnlichen Reaktionsformel für die Verbrennung eines Kohlehydrats, z. B. Glykose, Platz finden:



Natürlich ist diese Formel ganz richtig, wenn man nur wissen will, *welche neuen Produkte* in einer Reaktionsmischung, bei der Glykose verbrannt wird, auftreten, sowie auch den *stöchiometrischen Zusammenhang* zwischen ihnen. Will man, daß die Reaktionsformel auch den *genetischen Zusammenhang* zwischen den Atomen beiderseits des Gleichheitszeichens in der Gleichung darstellen soll, so ist die fragliche Gleichung auf die biologische Verbrennung des Traubenzuckers, wie ich den Verlauf aufgefaßt habe, nicht anwendbar. Dann muß man die Reaktionsformel erweitern und in sie Wasser auf folgende Weise einführen:



Gegen die erste Formel kann aus genetischem Gesichtspunkt der Einwand erhoben werden, daß 6 von den 12 Atomen Sauerstoff, die als in der Kohlensäure rechts vom Gleichheitszeichen enthalten angegeben sind, weder von der Glykose selbst noch von dem für die Verbrennung verbrauchten Sauerstoff herrühren, sondern von einem Stoff, nämlich Wasser, der überhaupt nicht in der Formel beachtet ist. Die Formel stellt also nicht nur eine Abkürzung dar, wie sie durch das Überspringen der Zwischenglieder bedingt ist, sondern wirkt in gewissem Grade irreführend, dadurch, daß sie einen genetischen Zusammenhang andeutet, der nicht vorhanden ist. Formel (2) ist in dieser Hinsicht an und für sich zwar unantastbar, aber ohne weiteren Ausbau ziemlich nichtssagend. Durch besondere Verbindungslinien mit dazu gehörigen Pfeilen ist sie so ausgebaut worden, daß sie den genetischen Zusammenhang zwischen den uns hier interessierenden Atomgruppen angibt.

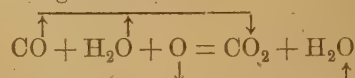
Die hier dargelegte Auffassung, daß bei einem bestimmten Verbrennungsprozeß *der angewandte Sauerstoff in Wasser umgewandelt* wird, und daß *der Sauerstoff der Kohlensäure von der Substanz selbst oder zugeführtem Wasser herrührt*, kann überraschend erscheinen. Sie kann jedoch verschiedene Stützen in einigen seit lange studierten Verbrennungsreaktionen der organischen Chemie finden.

Schon 1886 machte Dixon (Chem. Soc. 49, 1886, 94) es sehr wahrscheinlich, daß Wasser an der gewöhnlichen Verbrennung von Kohlenoxyd teilnimmt. Trockenes CO reagiert nämlich mit O<sub>2</sub> erst bei sehr hohen Temperaturen, und bei

seiner Verbrennung bei der Temperatur einer Verbrennungsflamme ist die Gegenwart von H<sub>2</sub>O unbedingt erforderlich. Die dabei vor sich gehende Reaktion dürfte in Übereinstimmung mit dem, was Wartenberg und Sieg später bewiesen haben (Ber. Deutsch. Chem. Ges. 53, 1920, S. 2192), in folgenden Stadien verlaufen:

1.  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{H} \cdot \text{COOH}$
2.  $\text{H} \cdot \text{COOH} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$
3.  $\text{H}_2 + \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}_2$
4.  $\text{H}_2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2$

Überspringen wir für die hier vorliegende Frage irrelevante Zwischenglieder und wenden wir dieselbe Methode wie oben zur Bezeichnung des genetischen Zusammenhangs zwischen den uns hier interessierenden Atomgruppen an, so erhalten wir folgendes Resultat:



Der freie Sauerstoff erhält also auch hier Wasser als Endprodukt, während der Sauerstoff der Kohlensäure von dem Sauerstoff teils des Kohlenoxyds, teils des Wassers her stammt.

Die oben vorgelegte Auffassung von dem genetischen Zusammenhang zwischen den beiden Respirationsgasen ist, wie betont worden, zunächst aus einer Anwendung der Wielandschen Theorie der Verbrennung hervorgegangen. Die fragliche Auffassung steht jedoch keineswegs in einem solchen Zusammenhang mit dieser Theorie, daß sie mit derselben steht und fällt. Man kommt nämlich zu im großen und ganzen demselben Resultat, auch wenn man von dem ausgeht, was man mit einem von Oppenheimer eingeführten Ausdruck hydroklastische Oxydationstheorien nennen könnte, Theorien, die eine Spaltung des Wassermoleküls in der Weise annehmen, daß der Wasserstoff danach von einem Wasserstoffakzeptor, eventuell freiem Sauerstoff, aufgenommen wird, während die Hydroxylgruppe als das oxydierende Agens zur Verwendung kommt, Theorien, die noch immer Anhänger haben.

## Über Hörsamkeitsstudien<sup>1)</sup>.

Von E. Michel, Hannover.

Sobald bei einer gewissen Kulturhöhe besondere Baulichkeiten für dramatische und musikalische Aufführungen verlangt werden, setzt unwillkürlich die Frage nach Sicht und Hörsamkeit ein, die Frage, mit welchen äußeren Mitteln der Genuß der Darbietungen gewährleistet und womöglich gesteigert werden könne. Bereits des griechisch-römischen Altertums sieht sich bei der Anlage seiner Theater und Odeen veranlaßt, diesem Gesichtspunkt seine Aufmerksamkeit zuzuwenden und wir finden den Niederschlag seiner

<sup>1)</sup> Michel, E., Hörsamkeit großer Räume. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, 1921. 57 S. und 84 Abbildungen. 22½ × 28½ cm. Preis M. 44,— + Teuerungszuschlag.



Anschauungen bei den Schriftstellern jener Zeit, vor allem bei *Vitruv*.

Als dann mit dem Niedergang der Antike auch das Theaterwesen an Bedeutung verliert, stockt Jahrhunderte lang die Entwicklung, bis nach der Zwischenstufe der mittelalterlichen Mysterienbühne wieder bewußt auf das klassische Schauspiel zurückgegriffen wird. Es entsteht im Zeitalter des Humanismus das Amphitheater der Akademien, wie es uns in dem um 1580 erbauten Teatro Olimpico zu Vicenza noch heute erhalten ist. Aber auch diesem bleibt der Zeitgeschmack nicht treu. Das Interesse erlahmt und es tritt mehr und mehr mit dem Erstarken zahlreicher Fürstengeschlechter das höfische Schaustück in den Vordergrund. Dieses spielt sich in glänzendem gesellschaftlichem Rahmen ab und entfaltet einen szenischen Prunk, wie er bisher unerhört gewesen war. Naturgemäß wirkt dies wieder auf den Theaterbau zurück, und es ergibt sich schließlich die tiefe, aber schmale Kulissenbühne, welcher wir zuerst in dem von *Aleotti* im Jahre 1618 erbauten Teatro Farnese zu Parma begegnen, und weiterhin, zuerst 1630 in Venedig, das Logen- und Rangtheater, welches die Zuschauer eng zusammendrängt, um ihnen möglichststen Einblick in die Bühne zu gestatten.

Der Hauptwert wird in dieser Zeit zwar auf gutes Sehen und Gesehenwerden gelegt, aber mit der bald steigenden Bedeutung der Musik gewinnt die Frage der Hörsamkeit erneut Bedeutung. Man sucht vor allem „die akustische Linie“ für den Grundriß des Zuschauerhauses zu finden und ergeht sich in langen Erörterungen, ob sie im Kreis oder in der Ellipse, oder etwa im Umriß einer Glocke oder einer Lyra zu erblicken sei. Bei allem Eifer macht man sich aber nicht genügend klar, daß es nicht ausreicht, lediglich in der wagerechten Ebene zu denken, d. h. ein den theoretischen Forderungen genügendes Grundrißbild zu entwerfen und über diesem ein geradzylindrisches, irgendwie überdecktes Zuschauerhaus zu errichten, anstatt den ganzen Aufbau als einheitliches räumliches Gebilde zu erfassen und folgerichtig zu durchdenken. Letzteres ist z. B. bei dem in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts entstandenen Entwurf von *Davioud* und *Bourdais* zu einer Volksoper in Paris geschehen, wo mit bewußter Absicht versucht wurde, den Zuschauerraum ganz selbständig nach bestimmten physikalischen Gesetzen zu entwickeln. Auch die neuerdings ohne Trennung von Decke und Wand einheitlich nach dem Paraboloid gestaltete Hill Memorial Hall in Michigan wäre hier zu nennen. Überhaupt bringt das sich immer reicher entwickelnde Theater- und Konzertwesen vielerlei Anregungen, vor allem dadurch, daß es breiteren Kreisen künstlerische Darbietungen zu vermitteln sucht und zu diesem Zweck neben einer Unzahl kleiner Anlagen den Bau von riesenhaften Sälen wie Albert-Hall und Trocadéro veranlaßt, auch

unter teilweisem Rückgriff auf die Antike neuartige Festspielhäuser wie Bayreuth und Oberammergau ins Leben ruft.

Durch diese in Fülle auftretenden praktischen Aufgaben werden nicht nur die Architekten immer wieder auf die Frage der Hörsamkeit aufmerksam gemacht, sondern auch die aufstrebenden Naturwissenschaften zu stets neuem Forschen aufgeboten. Es kann nicht geleugnet werden, daß sich damit viel Licht über das Wesen des Schalls und der Schallwirkungen verbreitet hat, aber die drei an diesen Studien hauptsächlich beteiligten Gebiete Naturwissenschaft, Musiklehre und Baukunst könnten zum Vorteil jedes einzelnen von ihnen in viel innigerer Fühlung miteinander stehen als es bisher der Fall ist. Freilich mag jeder Wissenszweig schon genug mit sich selbst zu tun haben und es liegt auch nahe, daß er in der Bearbeitung seines besonderen Aufgabenkreises seine eigenen Wege zu gehen, die ihm geläufigen Untersuchungsweisen beizubehalten sucht. Infolgedessen wird die Frage der Hörsamkeit jeweils unter verschiedenem Gesichtswinkel, also aus verschiedenen Anschauungen heraus betrachtet. Sie hat aber so große Bedeutung, daß es sich wohl verlohnt, einen Weg zu planmäßigem, zielbewußtem Handinhandarbeiten zu finden. Dabei werden sich ganz von selbst die verschiedenen Anschauungsweisen, wie sie nun einmal jedem Wissenszweig eigen sind, einander nähern und gegenseitig ausgleichen. Und dies ist auch notwendig, denn es kann nur zu Mißverständnissen führen, wenn der Physiker mit „Dämpfung“ und „Brechung“ andere Begriffe verbindet als ein Nichtphysiker, der etwa die Stärke eines Schalls mit Tuchbespannung „dämpft“ oder sich gleich einer heranbrandenden Meereswoge an einer Mauer „brechen“ läßt.

Die Sachlage wird im allgemeinen so sein, daß die Naturwissenschaft sich mit dem Zustandekommen, dem Verlauf und dem Verbleib des Musik- und Sprechtons beschäftigt. Insbesondere klärt sie an Hand der Reflex- oder Rückwurferscheinungen das Zusammenwirken der Schallwellen in Interferenz, wofür als deutsche Bezeichnung „Einschwingung“ vorgeschlagen sei, sowie ihre Auswirkung in anderen Stoffen, also Resonanz oder Mitschwingung. Daraus ergibt sich weiter die Frage der Fortpflanzung von Schallschwingungen in festen Körpern und ihrer Überleitung von einem Stoff in einen anderen, auch die Umwandlung in andere Erscheinungsformen, etwa Wärme und die damit gebotene Möglichkeit, Schallwellen für das Ohr zu schwächen oder sogar zu beseitigen.

Gewiß liegen umfangreiche Versuchsergebnisse dieser Art vor, aber sie sind vielfach zu sehr aus Laboratoriumsverhältnissen heraus entstanden, als daß sie ohne weiteres nutzbar verwendet werden könnten. Es gilt dies z. B. von Stärkemessungen, welche mit nur schwachen Schallquellen auf die kurze Reichweite von wenigen Zentimetern

oder Dezimetern ohne Rücksicht auf die Wirklichkeitsgrößen von Vortragssälen, Theatern usw. vorgenommen wurden, die aber freilich auch andere Ziele verfolgen als sie hier zu erörtern sind. Was uns aber für die Praxis der Hörsamkeit großer Räume nottut, sind großzügige Untersuchungen, wie sie z. B. *Sabine* vornahm, als er in einem Theater die Sitze der Reihe nach mit Kissen belegte und dann die sich jeweils ergebende Nachhalldauer maß, und als er den im Bau begriffenen Saal eines Musikkonservatoriums während der verschiedenen Stufen der Fertigstellung, vom nahezu leeren Rohbauzustand bis zur vollständigen Einrichtung nachprüfte.

Auch auf sonstigen bereits bearbeiteten physikalischen Gebieten könnte ein weiterer Ausbau der bisherigen Versuche und Versuchsreihen gerade für die etwaige Nutzbarmachung sehr vorteilhaft sein. So wären z. B. bezüglich der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls Vergleichsangaben für frisch hergestelltes, also noch feuchtes wie auch für ausgetrocknetes Mauerwerk, für neuen und alten Beton usw. zur Beantwortung der Frage wichtig, inwieweit wohl das Alter eines Bauwerks die Hörsamkeit eines Raums beeinflusst. Auch die Resonanzfähigkeit der Baustoffe, z. B. des Holzes im baureifen wie im trockenen Zustande, bedarf noch eingehender Untersuchungen. Das Interesse dafür berührt sich u. a. mit dem des Instrumentenbaues, für welchen nach den praktischen Geigenstudien von *Metzner* und *Großmann* gerade die Resonanzfähigkeit, der Eigenton der verarbeiteten Holzteile eine ausschlaggebende Bedeutung besitzt. Für die Auswahlprüfung dabei wäre ein einfaches Verfahren zur objektiven Klanganalyse als wertvolles Hilfsmittel zu begrüßen. Vielleicht ließe sich da an *Köhlers* Schallkurven vom lebenden menschlichen Trommelfell und an die Gützmanssche Analyse der Klangkurven von Vokalen anknüpfen.

Um einige der sonst noch für den Praktiker wichtigen Fragen herauszugreifen, so wären genauere Angaben erwünscht, von welcher absoluten oder Winkelgröße an bei ebenen und gekrümmten Flächen mit einem deutlichen, also die Hörsamkeit eines Raumes ungünstig beeinflussenden Schallrückwurf gerechnet werden muß. *A. Behm* hat mit seinem Echolot beobachtet, daß sich unter Wasser bei 30 m Tiefe ein Felsblock von 2 qm Oberfläche bereits meßbar kenntlich macht. Aber an entsprechenden Feststellungen für freie Luft fehlt es noch. Ferner wären Untersuchungen über das Wesen des Eigentons von Einzelräumen und von reichgegliederten Räumen, dann von Raumteilen, etwa Kirchenkapellen, geöffneten Nebensälen oder dgl. erwünscht, ebenso über den Einfluß des Eigentons derartiger Räume auf die Hörsamkeit des zugehörigen Hauptraums.

Überhaupt muß das akustische Verhalten reichgegliederter Räume noch eingehender geprüft werden, vor allem im Vergleich mit den von

*Sabine* und *Jäger* bei Sälen von mittlerer Größe und einheitlicher Gestalt gewonnenen Ergebnissen. *Sabine* kommt zu dem Satz, daß es für die Nachhalldauer und deren Feststellung nahezu ohne Einfluß ist

1. wo der Beobachter steht,
2. wo sich die Schallquelle befindet,
3. wo etwaige schalldämpfende Mittel angebracht sind.

Demgegenüber haben die Messungen, welche *Biehle* neuerdings im Dome zu Schleswig vornahm<sup>1)</sup>, erkennen lassen, daß bei gleicher Schallquelle der Nachhall an verschiedenen Stellen desselben Raums von verschiedener Dauer sein kann. Ferner ist beobachtet worden, daß der Nachhall nicht stetig, sondern stufenweise abnimmt, ohne daß bisher befriedigende Erklärungen dafür gegeben wurden. Die gelegentlich sich findenden Bezeichnungen „Über-“, „Normal-“ und „Unter-Akustik“ von Räumen müßten noch genauer umschrieben und in ihrem Wesen aufgeklärt werden. Es ist also ein recht mannigfaltiges und ausgedehntes Arbeitsfeld, das auf physikalischem Gebiet noch offen liegt.

Was weiter die Musikwissenschaft angeht, so spricht diese in der Hörsamkeitsfrage hauptsächlich unter dem Gesichtspunkt des Raum-Nutznießers mit. Sie erwartet von der Naturwissenschaft wichtige Aufschlüsse, vermag dieser aber wiederum wertvolle Fingerzeige über einzuschlagende Wege zu geben. In diesem Zusammenhange sei nur der neueren phonetischen Arbeiten und der Auswirkung des psychophysischen Grundgesetzes von *Weber-Fechner* gedacht, an welches sich die Frage knüpft, inwieweit wohl der Eindruck einer Tonstärke vom persönlichen Empfindungsvermögen des Einzelnen oder objektiv von Interferenzbildung abhängig sein mag. Ferner sei daran erinnert, wie verschieden stark Instrumente klingen, je nachdem ihnen hohe oder tiefe Töne eigen sind und sie im leeren oder vollbesetzten Saal gespielt werden. Daß die Töne auch verschiedenartig durch Wände, Decken usw. in andere Räume übergeleitet werden, ist für die Schallisolierung aneinandergrenzender Musiksäle, Übungszimmer u. dgl. von Bedeutung; ebenso für den Schutz gegen Straßen- und Eisenbahngeräusch, wie er seinerzeit beim Bau der Berliner Hochbahn eingehend erwogen und ausprobiert wurde.

Auch auf den Zusammenhang zwischen Ton und Hall sei hingewiesen, durch welchen zum Beispiel oft scharfe Betonungen überhaupt nicht möglich sind, melodisch gebrochene Akkorde sich für den Hörer zu Harmonien vereinigen, Begleitstimmen länger ausgehalten werden müssen, um ein gleichzeitiges Verklingen mit einer kräftigen Solostimme zu erreichen usw. Kurz, die Vortragsweise, und dies gilt auch von der Rede, muß

<sup>1)</sup> *Joh. Biehle*, Raumakustische, orgeltechnische und bau-liturgische Probleme. Leipzig 1922, C. F. W. Siegels Musikalienhandlung (R. Linnemann).



in einem Saal mit großer Nachhalldauer eine ganz andere als in einem nur wenig hallenden Raum sein. Da sich aber alle Einflüsse und erforderlichen Rücksichtnahmen nicht immer beim ersten Betreten eines Raumes erkennen lassen, so wäre es wertvoll, wenn für jeden größeren Saal eine „akustische Charakteristik“ ausläge, welche nach einheitlichen Gesichtspunkten auf Grund einer genauen physikalischen Untersuchung aufgestellt, jedem Gastdirigenten, Solisten oder Redner praktische Hinweise für sein Verhalten gäbe und ihn damit vor Überraschung durch unliebsame Hörsamkeitserscheinungen des Saales bewahrte, wie sie heutzutage leider noch oft vorkommt. Daß außerdem derartige Charakteristiken ein sehr wertvolles Vergleichsmaterial darstellen würden und damit unsere Kenntnis vom Wesen der Raumhörbarkeit sehr zu fördern vermöchten, bedarf keiner weiteren Betonung.

Die Baukunst endlich besitzt ein sehr großes Interesse an den Hörsamkeitsstudien, weil sie die Räume zu schaffen hat, in denen eine Rede oder ein musikalischer Vortrag ohne Störungen an den Zuhörer gebracht werden soll. Sie hat also weitgehende Anforderungen zu erfüllen, an die sie nur herantreten kann, wenn sie einen Rückhalt an vertiefter naturwissenschaftlicher Arbeit findet. Der einzelne Architekt wird freilich im Drange seiner Berufsarbeit vielfach nicht über die nötige Muße und Gelegenheit verfügen, um sich persönlich mit eingehenden Untersuchungen zu befassen und er ist daher leicht geneigt, sich auf altüberkommene Sätze und Regeln zu stützen, ohne ihrer inneren Begründung nachgehen und etwaige Irrtümer aus dem Wege räumen zu können. In dieser Hinsicht seien nur die immer wieder auftauchenden Vorschläge erwähnt, welche zur Verbesserung schlechter Hörsamkeit Draht- oder Fadennetze anwenden wollen. Diese haben sich aber infolge ihrer geringen Masse als so bedeutungslos herausgestellt, daß angebliche Erfolge auf Selbsttäuschung zurückgeführt werden müssen.

Der Baukünstler ist also darauf angewiesen, an einwandfreie wissenschaftliche Ergebnisse anzuknüpfen, welche seinem Entwurf eine gewisse Aussicht auf guten Hörerfolg bieten und die den Flug seiner künstlerischen Phantasie, ohne ihn zu lähmen, in die richtigen Bahnen leiten. Er wird sich eines solchen regelnden Einflusses schon im Gedanken an seinen eigenen Vorteil bedienen, um die Gefahr großer, nachträglich kaum wieder gutzumachender Schäden zu vermeiden. Andererseits vermag er gleich dem Redner und Musiker auf manche Gesichtspunkte aufmerksam zu machen, nach denen die Naturwissenschaft dem Architekten wertvolles Rüstzeug liefern könnte, wie schon weiter oben auseinandergesetzt ist. An dieser Stelle sei nur noch der Wunsch genannt, einen handlichen Meßapparat zu erhalten, mit dem es möglich wäre, ohne umständlichen Transport und ohne allzuschwierige Einstellung einen Raum

von wechselnden Standpunkten aus zu untersuchen, ihn auszuhorchen.

Ein verständnisvolles Zusammenarbeiten zwischen den beteiligten Fachgebieten kann demnach allein Erfolg versprechen. In diesem Sinne haben für den Ausbau des Großen Schauspielhauses in Berlin umfangreiche Hörsamkeitsstudien auf physikalischer wie auch bautechnischer Grundlage stattgefunden. Sie waren um so notwendiger, als die große Kuppel des ursprünglichen Zirkusgebäudes zunächst große Bedenken hinsichtlich der Eignung des Raumes wachgerufen hatte. Besonders weit scheint sich die wechselseitige Ergänzung in Amerika entwickelt zu haben, indem z. B. für den Bau des Scollay Square Theatre in Boston zunächst eine vorläufige Entwurfsskizze aufgestellt und nach dem Toepler'schen Schlierenverfahren auf den voraussichtlichen Schallverlauf durchgeprobt wurde, bis sich nach immer wieder neuen Änderungen eine befriedigende Raumgestalt ergab.

Also Naturwissenschaft, Musiklehre und Baukunst müssen sich die Hand reichen, um, im einzelnen selbständig, nach gemeinsamen großen Richtlinien dem gleichen Ziele, Ergründung des Wesens der Hörsamkeit zuzustreben; erst dann kann auf wirklichen Erfolg gerechnet werden. Wo ein solcher aber erzielt wird, strahlt er befruchtend und fördernd auf alle einschlägigen Wissenszweige zurück.

## Der mathematische Kern der Außenwelthypothese.

Von Karl Gerhards, Aachen.

### I.

*Die sinnlichen Wahrnehmungen als die ursprünglichsten physikalischen Experimente (Helmholtz), die fortdauernde Körperwelt als „einfachste“ zugeordnete Hypothese (Mach). Das Problem: Welches ist der mathematische Zusammenhang zwischen dieser Hypothese und ihrer experimentellen Grundlage?*

Nicht nur die Philosophen, sondern auch die Naturforscher haben sich oft die Frage vorgelegt, warum wir so unerschütterlich von dem realen Dasein der körperlichen Außenwelt, insbesondere von ihrer Fortdauer während der Wahrnehmungspausen überzeugt sind, und sie haben versucht, sich eine genauere Einsicht in die Gründe dieser Überzeugung zu verschaffen. Für den Naturforscher, insbesondere den Physiker, pflegt dabei zunächst die Arbeitsmethode seiner eigenen Wissenschaft maßgebend zu sein. Er geht davon aus, daß uns die Fortdauer der Körperwelt jedenfalls so weit und so lange, als wir sie sinnlich wahrnehmen, unmittelbar eben durch diese Sinneswahrnehmung selbst gewährleistet ist, und daß wir aus diesem unmittelbar wahrgenommenen Teil dann das Ganze mittels einer Art *Interpolation* erhalten, die grundsätzlich durchaus mit



dem induktiven Verfahren der naturwissenschaftlichen Hypothesenbildung übereinstimmt. Namentlich *Helmholtz* hat diese Auffassung vertreten und verfeinert<sup>1)</sup>. Nach ihm ist die ursprüngliche *experimentelle Grundlage* für die Hypothese der Körperwelt nicht erst in der ausgebildeten Wahrnehmung des Erwachsenen zu suchen, sondern schon in dem rein erscheinungsmäßigen Zusammenhang der sinnlichen Eindrücke, welchen uns die Wahrnehmung bereits von früher Kindheit an darbietet, und den wir durch unsere willkürlichen Bewegungen stets nur in ganz bestimmten Grenzen zu variieren vermögen. Diese sich täglich teils wiederholenden, teils erweiternden Variationen des sinnlichen Erscheinungsverlaufes stellen im Sinne von *Helmholtz* unsere ursprünglichsten, elementarsten naturwissenschaftlichen *Experimente* dar: die *induktive Theorie* dieser Experimente ist dann die Annahme, daß es bestimmte, teilweise wahrnehmbare, so und so aussehende Gebilde, nämlich die festen Körper gibt, die während einer gewissen Zeit in teils mehr, teils weniger konstanter räumlicher Ordnung, also in einem bestimmten raumzeitlichen Zusammenhang untereinander fortbestehen. Die *hypothetische Natur* dieser Annahme kommt uns im täglichen Leben, zumal in der gewöhnlichen Wahrnehmung gar nicht zum Bewußtsein: wir glauben hier ohne weiteres unsere ganze Umgebung „leibhaftig“ vor uns zu haben. Aber auch auf diesem, wie man zu sagen pflegt, „naiv realistischen“ Standpunkt müssen wir immer zugeben, daß die Fortdauer der Körperwelt, so wie wir sie im gewöhnlichen Leben annehmen, jedenfalls durch den sinnlichen Bestand unserer Wahrnehmungen nicht vollkommen gedeckt wird. Denn unmittelbar sinnlich bekommen wir auch in der ausgebildeten Wahrnehmung nie etwas anderes zu sehen als höchstens einen ganz geringen raumzeitlichen *Teil* der *Körperoberflächen*, und das, was so in jedem Moment unserem Auge entgeht, ist ihm auch nie mehr zugänglich, denn wir können ja mit unserer Sinneswahrnehmung überhaupt nicht noch einmal in das schon abgelaufene Stück der Raumzeitwelt zurückkehren. In Hinsicht auf den sinnlichen Erscheinungsverlauf ist also unsere Theorie der raumzeitlich-materiellen Umgebung jedenfalls eine *beständige Hypothese* — freilich eine Hypothese, die sich immer wieder bewährt, und die stark genug ist, um nun selbst als „tatsächliche“ Basis den ganzen fortschreitenden Bau der Naturwissenschaft zu tragen. Denn wir prüfen diese Hypothese tagtäglich einfach durch unsere wirkliche Sinneswahrnehmung, und wir brauchen dazu überhaupt keine naturwissen-

schaftlichen Apparate und Theorien zu kennen; umgekehrt aber können wir z. B. in der Physik keine einzige konkrete Messung, geschweige denn eine zusammenhängende Reihe solcher Messungen ausführen und ihr Ergebnis formulieren, ohne uns dabei auf ganz bestimmte Teile unserer körperlichen Umgebung zu beziehen.

Der Naturforscher hat somit ein prinzipielles methodisches Interesse daran, genauer zu erfahren, inwiefern denn eigentlich die Annahme der fortdauernden Körperwelt durch unseren sinnlichen Erscheinungsverlauf in so besonders hohem Maße bestätigt werden kann. So ist denn auch *Helmholtz* immer wieder bemüht gewesen, die Hypothese der realen Körperwelt im Sinne seiner Grundauffassung zu zergliedern, d. h. diejenigen logischen und mathematischen Operationen genauer zu bestimmen, welche notwendig und hinreichend sein würden, um aus einem individuell gegebenen Erscheinungsverlauf jene Hypothese in ihrer konkreten Form zu gewinnen. Doch seine Bemühung führte nicht zu Ergebnissen, die ihn selber zu befriedigen vermocht hätten; vor allem deshalb, weil es ihm nicht gelang, die Eigengesetzlichkeiten des Erscheinungsverlaufes, von deren Vorhandensein er überzeugt war, auch begrifflich klar zu erfassen. So hielt er zwar endgültig daran fest, daß die konkrete reale Körperwelt durch eine echte physikalische Induktion aus dem Erscheinungsverlauf ableitbar sei, aber er glaubte zugleich auch, daß man darauf verzichten müsse, den *logischen Mechanismus dieser Induktion genauer zu bestimmen*. Daher bemühte er sich, wenigstens ihre *psychologische Möglichkeit* plausibel zu machen; vor allem durch den Hinweis darauf, daß ihre experimentelle Grundlage, der sinnliche Erscheinungszusammenhang, Tag für Tag in derselben geregelten Weise auf uns einwirke, und daß wir eben dadurch seine Regeln in konkreter Form auswendig lernten, „ohne daß es notwendig oder auch nur möglich sei, dieselben in Worten zu beschreiben und sie dadurch begriffsmäßig zu fassen“. Auf diese Weise ergebe sich durch fortgesetzte Einübung schließlich die Fähigkeit, jede solche Regel in einer „mühelosen Anschauung“ konkret zusammenzufassen, und so komme nach und nach automatisch die Vorstellung der uns umgebenden Körperwelt zustande. „Für die Vorgänge einer solchen, dem inneren Wesen eines Schlusses entsprechenden Vereinigung sinnlicher Anschauungen scheint mir die Verschmelzung der vielen perspektivischen Ansichten eines Objekts in die Vorstellung seiner Körperform in drei Dimensionen ein besonders anschauliches Beispiel zu sein. In der Tat vertritt die lebhafteste Vorstellung der körperlichen Form alle die erwähnten perspektivischen Ansichten. Die letzteren lassen sich bei hinreichend lebendiger geometrischer Einbildungskraft aus ihr wieder herleiten. Ja selbst bisher noch nicht wahrgenommene Ansichten, wie sie bei der Anlegung von Quer-

<sup>1)</sup> Vgl. z. B. „Die Tatsachen in der Wahrnehmung“ (1879), S. 33, oder bereits die 1. Aufl. der „Physiol. Optik“ (1867), wo *Helmholtz* seine „empiristische“ Theorie der Sinneswahrnehmung entwickelt. Ähnliche Auffassung auch in *Wundts* „Beiträgen zur Theorie der Sinneswahrnehmung“ (1862), z. B. S. 439 f.



schnitten nach gewissen Richtungen gewonnen werden könnten, sind als Folgerungen jener Vorstellung daraus ableitbar. Und andererseits, wenn wir nach dem wahren Inhalt der Vorstellung eines nach drei Dimensionen ausgedehnten Körpers fragen, so ist doch keiner zu finden außer den Vorstellungen von der Reihe der von ihm zu gewinnenden Gesichtsbilder, mit eventueller Vorstellung solcher, die durch Zerschneiden entstehen könnten. — In diesem Sinne können wir behaupten, die Vorstellung der stereometrischen Form eines körperlichen Objekts spielt ganz die Rolle eines aus einer großen Reihe sinnlicher Anschauungsbilder zusammengefaßten Begriffs, *der aber selbst nicht notwendig durch in Worten ausdrückbare Definitionen, wie sie der Geometer sich konstruieren könnte, sondern nur durch die lebendige Vorstellung des Gesetzes, nach dem seine perspektivischen Bilder einander folgen, zusammengehalten wird*<sup>2)</sup>.

Einen Schritt weiter als *Helmholtz* ist *Mach* dem Problem zu Leibe gegangen. *Mach* war z. T. aus logischem Reinlichkeitsbedürfnis, z. T. aber auch aus Weltanschauungsgründen bestrebt, das Dauernd-Hypothetische oder, wie er es kurzerhand zu nennen pflegte, das „Metaphysische“ aus der Physik so weit als möglich zu eliminieren. Nach seiner Meinung ist die ganze Naturwissenschaft nichts als die methodisch fortschreitende Konstruktion eines Zeichensystems für den tatsächlichen, individuell gegebenen Verlaufszusammenhang unserer Sinneseindrücke, und zwar geschieht ihr methodischer Fortschritt in Richtung auf größtmögliche Genauigkeit und zugleich auf größtmögliche Sparsamkeit der Bezeichnung. Das Ziel ist, alle Zusammenhänge innerhalb des Erscheinungsverlaufes, sofern sie tatsächlich in bestimmter Hinsicht untereinander gleichartig sind, auch als solche „wiederzuerkennen“ und durch ein bestimmtes Symbol zu bezeichnen. Alle physikalischen Begriffsbildungen, Induktionen und Hypothesen haben also für *Mach* nur insoweit naturwissenschaftlichen Sinn, als sie eben „ökonomische Symbole“ für bestimmte Zusammenhänge innerhalb des tatsächlichen Erscheinungsverlaufes sind. So ist nun auch der Begriff der fortdauernden Körperwelt in derjenigen konkreten Ausgestaltung, wie wir ihn schon vor aller speziellen Naturwissenschaft besitzen, ein solches „ökonomisches“, sparsames Zeichensystem für unsern tatsächlichen Erscheinungsverlauf — insofern innerhalb dieses Verlaufes eben tatsächlich gewisse sehr allgemeine Gleichartigkeiten bestehen, Gleichartigkeiten des räumlich-zeitlich-qualitativen Zusammenhanges, den die einzelnen Teile, die „Elemente“ des sinnlichen Gesamtverlaufes, untereinander aufweisen. Die Eigenart dieses Symbols liegt eben darin, daß es unter allen sonst noch

möglichen Zeichensystemen von gleicher Genauigkeit das *sparsamste*, von gleicher Sparsamkeit das *genaueste* ist — gerade deshalb vermag nachher die Naturwissenschaft ihre speziellere Symbolik darin so gut einzubauen.

Sehen wir bei dieser Auffassung *Machs* von ihrer negativistischen<sup>3)</sup>, antimetaphysischen Tendenz einmal ab und betrachten sie nur nach dem logisch-methodischen Gesichtspunkt der Naturwissenschaft, so bietet sie eine wesentliche Ergänzung zu derjenigen von *Helmholtz*. Sie weist nämlich darauf hin, daß zwischen der konkreten fortdauernden Körperwelt, die wir auf Grund unseres gewöhnlichen Erscheinungsverlaufes annehmen, und diesem selbst jedenfalls eine Abbildung (im abstrakt mathematischen Sinne) bestehen muß. Vermöge dieser Abbildung muß also das eine Gebilde aus dem andern konstruierbar sein — und zwar gerade soweit, daß es sich auf Grund dieser Konstruktion eindeutig bezeichnen läßt.

Damit stoßen wir wiederum darauf, daß in jener „unbewußten Induktion“, wodurch wir nach *Helmholtz* aus dem normalen Erscheinungsverlauf die fortdauernde Körperwelt ableiten, ein rein mathematischer Kern steckt, der sich bei einer eindringenden Vergleichung jener beiden Gebilde von selbst ergeben muß, und der eben die logische Zwangsläufigkeit jener Induktion erklärt. Es erhebt sich also die Aufgabe, diesen mathematischen Kern herauszuanalysieren, d. h. zu zeigen, wie weit man auf Grund des einen Gebildes (d. h. des Erscheinungsverlaufes) allein schon das andere Gebilde (die fortdauernde Körperwelt) eindeutig zu definieren vermag.

Diese Aufgabe hat *Mach* ebensowenig wie *Helmholtz* zu lösen vermocht. Auch ihm gelang es nicht, die erforderliche Analyse wirklich durchzuführen, d. h. jene „Funktionalzusammenhänge“ innerhalb des Erscheinungsverlaufes aufzuweisen, welche zur eindeutigen Definition der fortdauernden Körperwelt ausreichen. Analog wie *Helmholtz* versuchte er statt dessen, die fortschreitende Verbesserung der naturwissenschaftlichen Symbolik allgemein plausibel zu machen, insbesondere durch Hinweis auf die biologischen Vorgänge: er verglich die „Anpassung der Gedanken an die Tatsachen“ (d. h. an den sinnlichen Erscheinungsverlauf) mit der Anpassung der Lebewesen an ihre Umgebung. Und so schien ihm die Annahme der fortdauernden Körperwelt schließlich nur deshalb gerechtfertigt, weil sie eben für den praktischen Experimentator höchst brauchbar sei: „Der Naturforscher ist nicht nur Theoretiker, sondern auch Praktiker. In letzterer Eigenschaft hat er Operationen auszuführen, welche instinktiv, geläufig, fast unbewußt, ohne

<sup>2)</sup> „Über den Ursprung der richtigen Deutung unserer Sinneseindrücke“, Wiss. Abh. Bd. III, S. 544 f. Der Schluß ist von mir hervorgehoben.

<sup>3)</sup> Dieser Ausdruck, der in seiner Kürze die treffendste Kritik jedes „Positivismus“ enthält, stammt von *Steady*: „Die realistische Weltanschauung und die Lehre vom Raum“, Braunschweig 1914, S. 25.

intellektuelle Anstrengung vorgehen müssen. Um einen Körper zu ergreifen, auf die Wage zu legen, kurz für den *Handgebrauch*, kann der Naturforscher die rohesten Substanzvorstellungen, wie sie dem naiven Menschen und selbst dem Tiere geläufig sind, nicht entbehren. Denn die höhere biologische Stufe, welche der wissenschaftliche Intellekt darstellt, ruht auf der niederen, welche unter ersterer nicht weichen darf<sup>4)</sup>. Es ist klar, daß eine derartige Auffassung wenigstens in methodisch-kritischer Hinsicht gar nicht befriedigen kann. Denn das große Rätsel ist ja eben, wieso gerade die Annahme der fortdauernden Körperwelt eine derart *ausgezeichnete*, geläufige, durch nichts Besseres ersetzbare gedankliche Anpassung an den tatsächlichen Erscheinungsverlauf sein kann, wo sie doch zugleich, wie wir sahen, *noch weit über diesen Verlauf hinausgreift*. Dieses Rätsel bleibt auch dann bestehen, wenn Mach die reale Geltung jener Annahme bestreitet und sie für ein bloßes „Gedankensymbol“ des Erscheinungsverlaufs erklärt: ja, es wird dann nur noch rätselhafter, daß man den Erscheinungsverlauf am sparsamsten nur derart zu symbolisieren vermag, daß der weitaus größte Teil des Symbols von den Erscheinungen *leer* bleibt. Um dies Rätsel zu lösen, muß man eben genau zeigen: erstens, inwiefern doch wenigstens ein gewisser Teil des Symbols von den Erscheinungen *erfüllt* oder „gedeckt“ wird, zweitens, inwiefern gerade bei *diesem* Symbol auch der andere, leergelassene Teil durch den erfüllten *in besonders einfacher Weise mitbestimmt* ist, so daß man das ganze Symbol aus diesem erfüllten Teil konstruieren kann — analog etwa, wie sich aus fünf in einer Ebene vorgegebenen Punkten in besonders einfacher Weise, nämlich rein linear, eine Kurve zweiter Ordnung konstruieren läßt<sup>5)</sup>.

Wir wollen nun im folgenden zeigen, daß man auf Grund eines konkret gegebenen Erscheinungsverlaufs, wie ihn die normale Sinneswahrnehmung, und zwar schon allein die *Gesichtswahrnehmung*<sup>6)</sup> darbietet, tatsächlich imstande ist, die zugehörige körperliche Umwelt ihrem raumzeitlich-materiellen Zusammenhange nach zu konstruieren. Es ist klar, daß eine solche Konstruktion prinzipiell ganz unabhängig von der *individuellen Besonderheit*

des zugrunde gelegten Wahrnehmungsablaufes sein muß: aus *jedem* solchen Ablauf, der während einer bestimmten Zeit innerhalb einer bestimmten körperlichen Umgebung unter normalen Bedingungen *möglich* ist, muß sich diese selbe Umwelt konstruieren lassen, analog wie sich dieselbe Kurve zweiter Ordnung aus fünf *beliebigen* ihrer Punkte konstruieren läßt. Andererseits läßt sich natürlich die ganze Konstruktion nur insoweit durchführen, als die verschiedenen fortdauernden Teile der Umwelt wenigstens je einmal wirklich in dem gegebenen optischen Ablauf zur Erscheinung gelangen. Es wird sich also zunächst um die Konstruktion des fortdauernden sichtbaren *Oberflächenzusammenhanges* der betreffenden Umwelt handeln; das Innere der Körper können wir dann im Sinne von *Helmholtz* durch Zerschneiden und Wiederausammenfügen erhalten.

## II.

*Kinematographisches Modell des Erscheinungsverlaufes, den eine Körperoberfläche bei normaler Gesichtswahrnehmung darbietet. Analoges Modell des gleichzeitigen Verlaufs der Oberfläche selbst. Die gegenseitige Zuordnung der beiden Modelle.*

Aus den bisherigen Erörterungen geht hervor, daß es sich bei unserer Frage vor allem darum handelt, die *mathematischen Abbildungsbeziehungen* genauer zu betrachten, welche zwischen einem bestimmten optischen Erscheinungsverlauf, wie ihn eine Körperoberfläche dem Auge unter normalen Umständen darbietet, und dieser fortdauernden Fläche selbst bestehen. Dies gelingt am leichtesten, wenn wir uns zunächst von jedem dieser beiden Gebilde ein *anschauliches Modell* herstellen. Für das erste Gebilde, den optischen Erscheinungsverlauf, erhalten wir ein solches Modell ohne weiteres auf kinematographischem Wege. Wir denken uns einfach unser Auge ersetzt durch eine gegen die Körperoberfläche bewegbare kinematographische Aufnahmekamera, welche das für gewöhnlich auf unsere Netzhaut fallende Licht auffängt und einen Film in natürlichen Farben herstellt. Diesen Film denken wir uns als farbiges Diapositiv entwickelt, in seine einzelnen Momentaufnahmen zerschnitten, und nun diese ihrer Zeitfolge entsprechend und zu sich selbst parallel aufeinandergeschoben. Dann entsteht ein dreidimensionales Gebilde, ein länglicher Körper, der von lauter farbigen Fäden, und Strängen durchzogen ist: jedem materiellen Punkt der kinematographierten Oberfläche entspricht für jedes Zeitintervall, wo er sonst in unserer Wahrnehmung sichtbar gewesen wäre, ein solcher Faden, dessen Länge der Dauer des Zeitintervalls proportional ist. Wir erhalten also hier ein genaues graphisches Modell unseres *wirklichen* individuellen Erscheinungsverlaufs, vorausgesetzt natürlich, daß die Kamera sowohl in ihrer raumzeitlichen Bahn als in ihrer optischen Funktion

<sup>4)</sup> „Die Prinzipien der Wärmelehre“, 2. A., 1900, Kap. „Der Substanzbegriff“.

<sup>5)</sup> Es ist die bekannte Konstruktion durch projektive Strahlenbüschel gemeint, wie sie in der sog. „Geometrie der Lage“ gelehrt wird. Diese Konstruktion benutzt weder Zirkel noch Maßstab, sondern nur das Lineal.

<sup>6)</sup> Auch *Berkeley* hat (in seiner „Neuen Theorie des Sehens“) einen „Geist“ fingiert, dem nur unsere Gesichtseindrücke gegeben sind, und sich die Frage vorgelegt, welche Erkenntnisse wohl ein solcher Geist gewinnen könnte. Freilich kam er dabei bald zum Ergebnis, daß ein derartiger Geist nicht einmal zu den elementarsten Einsichten der praktischen Geometrie gelangen würde.



mit unserem Auge zusammenfällt?). Denken wir uns hingegen die Bahn der Kamera im Raume beliebig gewählt, so erhalten wir die Modelle aller derjenigen Erscheinungsverläufe, die in unserer Umgebung während der Zeit unserer Wahrnehmung möglich sind. Wir wollen nun fortan ein solches kinematographisches Modell ein „Phänogramm“ nennen; dasjenige Phänogramm, welches unserem wirklichen Erscheinungsverlauf entspricht, soll mit dem Buchstaben *P* bezeichnet werden.

Ein analoges Modell müssen wir uns nun auch von dem zweiten zu untersuchenden Gebilde, also von der fortdauernden materiellen Oberfläche selbst verschaffen. Auch dies läßt sich in Gedanken ohne weiteres ausführen, wenn wir uns von der Auffassungsweise der heutigen Physik, wie sie insbesondere in der Relativitätstheorie hervortritt, leiten lassen. Jeder materielle Punkt unserer Oberfläche beschreibt ja während der Zeit der Phänogrammaufnahme in der vierdimensionalen Welt ein bestimmtes Stück seiner „Weltlinie“. Diese Weltlinienstücke laufen, da der räumlich-materielle Zusammenhang unserer Oberfläche sich unterdes nicht ändert, alle dauernd gleichsam parallel nebeneinander her, ohne sich gegenseitig zu verflechten und ohne zwischen sich eine Lücke zu lassen. Wir können also den Verlauf unserer Oberfläche anschaulich darstellen, indem wir jedes seiner Weltlinienstücke durch einen dünnen Faden ersetzt denken, derart, daß alle diese Fäden parallel und dichtschießend in derselben Ordnung nebeneinander liegen, wie die betreffenden Weltlinienstücke. Außerdem wollen wir festsetzen, daß jeder Faden unseres Modells dieselbe Farbe aufweisen soll, welche der betreffende materielle Punkt der Oberfläche während der betrachteten Zeit aufweist, und welche also auch im Phänogramm gegebenenfalls zur Erscheinung gelangt. In dieser Festsetzung ist offenbar noch gar keine besondere Annahme über die materielle Feinstruktur unserer Oberfläche enthalten, sondern es sind nur ihre einzelnen substantiellen Teilchen, soweit sie sich tatsächlich dem Aussehen nach voneinander unterscheiden lassen, in natürlicher Weise bezeichnet. Das so erhaltene graphische Modell unseres Oberflächenverlaufs wollen wir ein „Ontogramm“ nennen, da das zugehörige Original ja nicht, wie beim Phänogramm, ein wirklicher oder möglicher Erscheinungsverlauf, sondern ein Teil der realen Welt ist. Das Ontogramm wollen wir hinfort mit dem Buchstaben *O* bezeichnen.

Betrachten wir nun unsere beiden Modelle an einem konkreten Fall etwas genauer. Als körperliche Oberfläche sei eine geschlossene Fläche gewählt, etwa die Oberfläche eines Zimmers, in welchem einige Möbel stehen. Die aufnehmende

7) Daß diese Voraussetzung sich in concreto nicht realisieren läßt, ist für unsere Überlegungen ohne Belang.

Kamera werde langsam so im Zimmer umherbewegt, daß jeder Teil der Oberfläche nach und nach mindestens einmal eine gewisse Zeitlang kinematographiert wird. Wie sieht nun das Phänogramm *P* aus? Denken wir uns für einen Augenblick, daß statt des Films eine Mattscheibe eingesetzt sei, an der wir den Verlauf der Erscheinungen in der Zeit selbst beobachten<sup>8)</sup>. Ruht nun die Kamera eine Zeit lang relativ zur Zimmeroberfläche, so bleibt der Erscheinungsverlauf während dieser ganzen Zeit konstant, d. h. wir erhalten bei der Aufnahme lauter einander kongruente Momentbilder, die alle in derselben Weise von einem dunklen Rand, der von der Blende der Kamera herrührt, eingeschlossen sind. In dem betreffenden Abschnitt von *P* wird also die Längsrichtung aller Fäden übereinstimmen mit der Längsrichtung der dunklen Außenhülle, so daß dieser ganze Abschnitt einen einzigen Strang paralleler Fäden darstellt. Sobald aber die Kamera sich verschiebt, sehen wir auf der Mattscheibe, wie sich das ganze Bild gegen den dunklen Rand ebenfalls verschiebt, wie die Erscheinungen der einzelnen Oberflächenteile sich perspektivisch deformieren, bald einschrumpfen, bald sich ausdehnen, und wie die Erscheinungen der vorspringenden Flächenstücke die anderen teilweise überschneiden, während der dunkle Rand das ganze innere Bild, soweit es sich an ihn heranschiebt, überschneidet. Im Phänogramm *P* stellen sich also jetzt die inneren Fäden im großen ganzen schräg gegen die dunkle Außenhülle und verschwinden, sobald sie an diese herangerückt sind, während an der gegenüberliegenden Seite neue Fäden von der Grenze der Außenhülle aus in *P* hineinlaufen, um nachher gleichfalls wieder zu verschwinden. Der ganze Strang löst sich im Innern in Teilstränge auf, die in ihrem Verlauf nicht nur sich deformieren, sondern auch ihre Richtungen gegeneinander ändern, und wenn zwei solche Teilstränge nun schräg gegeneinander stoßen, so verschwindet wiederum der eine von ihnen an der Grenze des andern. In diesem Abschnitt ist also das Innere von *P* etwa einem gemalten Flechtmuster zu vergleichen, wie es S. 429 Fig. 1 zeigt: die einzelnen Teilstränge dieses Musters verhalten sich zueinander analog wie die Teilstränge von *P*. Ein genaueres Bild des Sachverhalts gewinnen wir aus Fig. 3 und Fig. 4. Es ist hier nach dem Vorbilde von *Helmholtz* eine räumlich zweidimensionale Welt zugrunde gelegt: eine Ebene, in der sich eine aus verschiedenfarbigen Stücken bestehende geschlossene Linie *L* — das eindimensionale Analogon einer Körperoberfläche — befindet. Diese Linie *L* wird von einem zweidimensionalen Wesen kinematographiert, so wie es in Fig. 3 dargestellt ist. Fig. 4 zeigt das resultierende Phänogramm.

Hinsichtlich des Ontogramms *O* ist zunächst

<sup>8)</sup> Vgl. W. Betz, „Psychologie des Denkens“. Leipzig 1918, S. 305 f.

nur folgendes zu bemerken. Weil unsere Zimmeroberfläche räumlich geschlossen ist, so läßt sich  $O$  im dreidimensionalen Raum natürlich nicht als Ganzes anschauen. Wohl aber ist jeder hinreichend dünne Teilstrang von  $O$  anschaulich im Raume darstellbar: wir brauchen ja nur an ein nahezu ebenes Stück der Zimmeroberfläche die entsprechend gefärbten Fäden zu ihm senkrecht anzusetzen. Die Fläche selbst stellt (als räumlicher Zusammenhang ihrer Punkte aufgefaßt) offenbar den konstanten Momentanquerschnitt von  $O$  dar<sup>9)</sup>.

Nun können wir endlich das spezielle Problem der folgenden Untersuchung präzise formulieren. Wir knüpfen wieder an den S. 424 angeführten Gedankengang von *Helmholtz* an, welcher sich auf den gesetzlichen Zusammenhang bezieht, der zwischen der Abfolge der von einem Körper dargebotenen perspektivischen Ansichten und der stereometrischen Form dieses Körpers bestehen muß. Wir könnten uns jetzt sogleich die Aufgabe stellen, diesen Zusammenhang an unsern beiden Modellen zu ermitteln, d. h. also aus dem Phänogramm  $P$  den konstanten Momentanquerschnitt von  $O$  zu konstruieren. Zum Glück ist dies nun doch nicht die fundamentalste Aufgabe, die hier vorliegt: wäre sie es, so müßten wir wohl bis auf weiteres auf eine Lösung überhaupt verzichten. Vielmehr gibt es an unserer Oberfläche in räumlicher Hinsicht noch etwas Ursprünglicheres als ihre stereometrische Form: das ist ihr „innerer“ zweidimensionaler Zusammenhang, d. h. der Nachbarschaftszusammenhang der kleinen Flächenstücke miteinander. Dieser innere Zusammenhang bleibt unverändert, wenn unsere Fläche sich im stereometrischen Sinne deformiert, denn die einzelnen Flächenstückchen ändern sich ja durch solche Deformationen nicht wesentlich, und sofern die Fläche sich nur deformiert, also nicht zerreißt, grenzen auch die einzelnen Stückchen nach der Deformation in genau derselben Weise aneinander wie vorher. Wir wollen nun vorerst unsere Fläche nur auf diesen ihren inneren Eigenzusammenhang hin betrachten, d. h. also von ihrer speziellen stereometrischen Gestalt absehen: demgemäß betrachten wir auch ihr Ontogramm nur im Hinblick auf den zweidimensionalen Nachbarschaftszusammenhang seiner Fäden miteinander.

<sup>9)</sup> Zur Erläuterung des Gesagten brauchen wir bloß wieder den Fall der räumlich zweidimensionalen Welt  $E$  zu betrachten. Die in  $E$  liegende geschlossene Linie  $L$  beschreibt in ihrem zeitlichen Verlauf offenbar eine Art Röhre; der konstante Momentanquerschnitt dieser Röhre ist die Linie  $L$  selbst, als räumlicher Zusammenhang ihrer Punkte aufgefaßt. Ein räumliches Modell dieser Röhre läßt sich nun, wie man sieht, nicht als Ganzes in die Ebene  $E$  hineinlegen; wohl aber können wir jeden hinreichend schmalen Längsstreifen der Röhre innerhalb von  $E$  darstellen: wir machen einfach das zugehörige Linienelement von  $L$  zur Grundlinie eines Rechtecks, dessen Höhe der Höhe jener Röhre entspricht.

Als elementarste, grundlegende Aufgabe ergibt sich also jetzt, die Fortdauer der Fläche in ihrem inneren zweidimensionalen Eigenzusammenhang aus dem gegebenen Erscheinungsverlauf abzuleiten. Auf unsere Modelle übertragen bedeutet dies, daß wir aus dem Phänogramm  $P$  das zugehörige Ontogramm  $O$  ebenfalls lediglich als zweidimensionalen Eigenzusammenhang seiner Fäden zu konstruieren haben. Unsere Fragestellung unterscheidet sich also in charakteristischer Weise von derjenigen, welche *Helmholtz* anscheinend vor Augen gehabt hat: Als physische Hypothese, welche wir dem gegebenen optischen Erscheinungsverlauf gemäß ansetzen, betrachten wir nicht die räumlich dreidimensionale Gesamtmasse, sondern nur die sichtbare Oberfläche unserer körperlichen Umgebung; zweitens abstrahieren wir von ihrer stereometrischen Gestalt, soweit sie über die allgemeine Form des inneren zweidimensionalen Eigenzusammenhanges hinausgeht; drittens aber berücksichtigen wir ganz ausdrücklich (in unseren gefärbten Fäden) den zeitlichen Verlauf und die anschauliche farbige Musterung der Oberfläche, während *Helmholtz* darauf nicht eingeht. Unser Problem ist also im erkenntnistheoretischen Sinne erheblich elementarer als das von *Helmholtz*. In dieser Elementarisierung des Problems liegt der erste prinzipielle Fortschritt unserer Untersuchung gegenüber den bisherigen; sie gestattet, wie wir sehen werden, nicht nur das so gestellte Problem mathematisch einfach zu lösen, sondern nachher auch jene höheren Probleme erfolgreich anzugreifen.

Wir haben nunmehr also diejenigen mathematischen Abbildungsbeziehungen zu untersuchen, welche zwischen  $P$  und  $O$  auch dann noch bestehen, wenn wir, wie vorhin ausgeführt, von  $O$  nur den zweidimensionalen Nachbarschaftszusammenhang seiner einzelnen Fäden miteinander in Betracht ziehen und uns die Aufgabe stellen, allein diesen Nachbarschaftszusammenhang aus dem Phänogramm  $P$  abzuleiten. Zunächst ist klar, daß jeder materielle Punkt der Zimmeroberfläche nur während derjenigen Zeit in  $P$  abgebildet wird, wo das von ihm ausgesandte Licht den Film tatsächlich trifft (also nicht schon vorher abgefangen wird). Die Fäden von  $O$  gelangen daher im allgemeinen nur ein Stück in  $P$  zur Darstellung, d. h. es gibt in  $O$  nur einen gewissen Ausschnitt, welcher in  $P$  wirklich direkt reproduziert ist. Diesen Ausschnitt von  $O$  wollen wir mit  $A_O$  bezeichnen. In der Ausdrucksweise *Machs* (S. 425) Spalte 1 stellt  $A_O$  also denjenigen Teil des zu unserm wirklichen Erscheinungsverlauf gehörenden „ökonomischen Symbols“ dar, welcher unmittelbar von den Erscheinungen „gedeckt“ wird. Nun ist leicht zu sehen, daß zwischen  $P$  und  $A_O$  eine Zuordnung besteht, die folgende Eigenschaften hat:



1. Jedem einzelnen Faden von  $A_0$  entspricht ein bestimmter ihm gleichfarbiger Faden von  $P$ , und umgekehrt.
2. Sind irgend zwei Fäden von  $A_0$  einander nächstbenachbart, so bleiben auch die entsprechenden beiden Fäden von  $P$  während ihres *ganzen* Verlaufs nächstbenachbart, und umgekehrt.

Die erste dieser beiden Eigenschaften liegt nach dem Bisherigen auf der Hand. Um uns von der zweiten zu überzeugen, brauchen wir nur zu beachten, daß zwei nächstbenachbarte materielle Punkte unserer Zimmeroberfläche auch stets nächstbenachbarte optische Bilder liefern, gleichgültig, wie die perspektivische Deformation dieser Bilder ausfällt. Damit auch das Umgekehrte gilt, müssen wir natürlich voraussetzen,



Fig. 1. Der obere Teil der Figur entspricht mit seinen Überschneidungen und Deformationen einem charakteristischen Abschnitt von  $P$ , der untere einem nicht-charakteristischen.

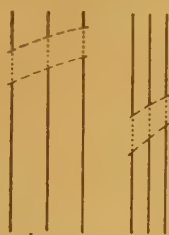


Fig. 2. Der ausgezogene Teil der Figur entspricht dem Ausschnitt  $A_0$ . Die Bezeichnungen  $t_k$  und  $t_{k+1}$  sowie die Ziffern 1 bis 4 gehören zu Anm. 11, Kap. 3.

daß unsere Kamera sich gegen die Zimmeroberfläche *bewegt*: solange sie ruht, kann es ja immer noch möglich sein, daß von zwei Punkten, die im optischen Bilde dicht nebeneinander erscheinen, der eine auf einem vorspringenden Teil der Oberfläche, der andere also, von der Kamera aus gesehen, beträchtlich hinter ihm liegt. Wir müssen daher stets „charakteristische“ Abschnitte von  $P$  in Betracht ziehen, d. h. solche, worin tatsächlich innere Deformationen und Überschneidungen auftreten; nur für diejenigen Fäden, welche auch in diesen Abschnitten sich nicht voneinander trennen, gilt die Behauptung. Innerhalb des Phänogramms können wir sie so formulieren: Zwei Fäden, die in einem charakteristischen Abschnitt des Phänogramms eine *kurze Zeit lang* nächstbenachbart nebeneinander liegen, liegen so auch während ihres *ganzen* Verlaufs. — Wir wollen ein Phänogramm, welches charakteristische Abschnitte besitzt, fortan ein „*normales*“ Phänogramm nennen; zwei Fäden eines normalen Phänogramms, von denen die eben ausgesprochene Behauptung gilt, sollen im eigentlichen Sinne als „*nächstbenachbart*“ bezeichnet werden.  $P$  ist offenbar normal, da wir ja die Kamera während der Aufnahme im Zimmer umherbewegt haben. — Aus der Eigenschaft 2 folgt nun unmittelbar:

3. Vermag man in  $A_0$  von einem bestimmten Faden aus zu einem andern zu gelangen, indem man lauter paarweise nächstbenachbarte, zu  $A_0$  selbst gehörende Fäden überschreitet, so ist das gleiche bei den entsprechenden Fäden in  $P$  möglich, und umgekehrt.

Damit stoßen wir auf die fundamentale Tatsache, daß die beiden Gebilde  $A_0$  und  $P$  im allgemeinsten geometrischen Sinne, nämlich im Sinne der sog. Topologie oder Analysis situs, einander äquivalent sind. Dies bedeutet, daß sich das eine Gebilde einfach durch stetige Deformation in das andere überführen läßt<sup>40)</sup>. Bei  $P$  ist hier natürlich einzig und allein derjenige Zusammenhang zu berücksichtigen, welcher auf der soeben erläuterten „*nächsten*“ Nachbarschaft der einzelnen Fäden beruht: von aller sonstigen Verbindung der Fäden, insbesondere von ihrem Zusammentreffen bei Überschneidungen, müssen wir absehen.

Wir können uns die Beziehung zwischen  $P$  und  $A_0$  nun an einem ganz einfachen Beispiel unmittelbar auf dem Papier veranschaulichen. Wir haben bereits das Phänogramm  $P$  mit einem gemalten Flechtmuster verglichen. Fig. 1 zeigt schematisch ein solches Flechtmusterbild, das Analogon zu  $P$ ; Fig. 2 stellt die (auseinandergeflochtenen) Stränge des wirklichen Flechtwerks dar, also das Analogon zu  $O$  und  $A_0$ . Man sieht, daß sich das Flechtmusterbild, nachdem seine Stränge da, wo sie schräg gegeneinander treffen, mit der Schere voneinander getrennt sind, tatsächlich durch Deformation in den zugehörigen Ausschnitt des Flechtwerks überführen läßt.

Ein vollkommen adäquates Beispiel zeigen die Figuren 3, 4 und 5, von denen die beiden ersten bereits S. 427 (bei der des Phänogramms) erwähnt worden sind. Das dort Gesagte ist hier noch einmal zu vergleichen.

In Fig. 3 ist ein Teil der Linie  $L$  dargestellt; von seinen farbigen Punkten sind die hauptsächlichsten mit den Buchstaben  $a$  bis  $g$  bezeichnet.

<sup>40)</sup> Die Topologie oder Analysis situs ist jene allgemeinste geometrische Disziplin, welche die ausgedehnten Gebilde in bezug auf diejenigen Eigenschaften hin untersucht, die bei stetiger Deformation der Gebilde erhalten bleiben. In topologischer Hinsicht ist z. B. eine Kugelfläche mit der Oberfläche eines Eies äquivalent: beide Flächen sind in sich geschlossen, d. h. ohne Rand; beide sind ferner „einfach zusammenhängend“, d. h., jede von ihnen wird durch eine beliebig auf ihr gezogene geschlossene Linie in zwei voneinander getrennte Teile zerlegt. Topologisch von anderer Art ist z. B. die Oberfläche eines Fingerringes: auf ihr gibt es, wie man sofort sieht, geschlossene Linien, durch welche die Fläche nicht in zwei getrennte Teile zerlegt wird. Bei allen diesen topologischen Eigenschaften kommt es nicht auf die stereometrische Form der Fläche, sondern allein auf den Nachbarschaftszusammenhang der Flächenelemente miteinander an. — Wie fundamental die Analysis situs unter Umständen noch für die Physik werden kann, zeigt die allgemeine Relativitätstheorie.

Vor  $L$  liegt ganz isoliert noch ein Linienstück  $S$  mit den Punkten  $h, i, k$ . Um  $h$  als Mittelpunkt bewegt sich in dem Kreise  $K$  die kinematographierende Kamera, von 1 aus beginnend, im Uhrzeigersinn wieder nach 1 zurück mit gleichförmiger Geschwindigkeit, derart, daß sie stets

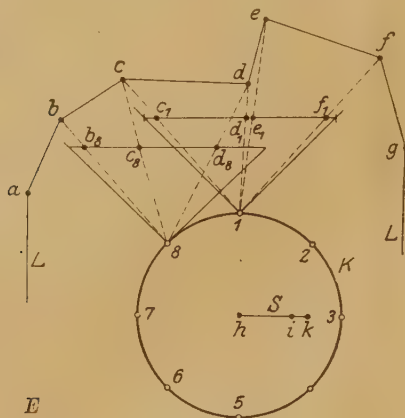


Fig. 3.

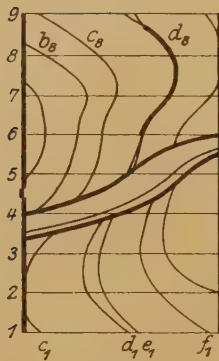


Fig. 4.

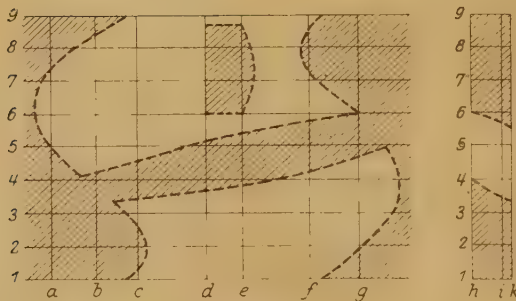


Fig. 5.

parallel mit sich selbst auf  $L$  gerichtet bleibt. An jedem Punkt der Bahn  $K$  erhalten wir eine Momentaufnahme; Fig. 3 zeigt schematisch die Entstehung dieser Momentaufnahmen für die Punkte 1 und 8. — In Fig. 4 sind alle diese Aufnahmen zum Phänogramm ( $P$ ) aneinandergesetzt. Man sieht, wie zwischen Punkt 3 und 4 das Linienstück  $S$  zu erscheinen beginnt, wie es  $L$  überschneidet und zwischen Punkt 5 und 6

wieder aus dem Gesichtsfeld verschwindet. Ferner zeigt sich, wie bei Punkt 6 die vorspringende Ecke  $d$  den rechts an sie anschließenden Teil von  $L$  zu überschneiden beginnt. Das Stück  $d-e$  verschwindet, weil es gerade ist, mit einem Male ganz aus dem Gesichtsfelde und taucht zwischen Punkt 8 und 9 ebenso auf einmal wieder auf. Auch das an  $d-e$  anschließende Stück  $e-f$  wird teilweise noch durch die Ecke  $d$  verdeckt. — Fig. 5 zeigt die Ontogramme von  $L$  und  $S$  während der Zeit der kinematographischen Aufnahme. Der nicht schraffierte Teil ist der mit dem Phänogramm ( $P$ ) von Fig. 4 äquivalente Ausschnitt ( $A_0$ ). Um das Phänogramm in diesen Ausschnitt überzuführen, müssen wir es zunächst an den in Fig. 4 dick gezeichneten Fäden bzw. Fadenstücken entlang aufschneiden und dann entsprechend deformieren.

(Schluß folgt.)

## Besprechungen.

**Maull, O., Beiträge zur Morphologie des Peloponnes und des südlichen Mittelgriechenlands.** (Geographische Abhandlungen, herausg. von A. Penck, Band X, Heft 3.) Leipzig und Berlin, B. G. Teubner, 1921. VI, 120 S. und 7 Tafeln. Preis M. 14,—.

Für einen, der die Entwicklung der physischen Geographie und speziell ihrer auf Beobachtung der Erdoberfläche beruhenden Grundlage, der Geomorphologie oder vergleichenden Landschaftskunde, studieren will, gibt es wohl so leicht kein lehrreicherer Beispiel als das eines Vergleichs des Geographischen in A. Philippons „Peloponnes“ aus 1892 mit O. Maulls Behandlung desselben Gebietes. Das Verdienst des früheren Bearbeiters bleibt das gleiche, natürlich. Jeder Nachfolger benutzt die Ergebnisse und lernt an den Fehlern oder besser den Auslassungen des Vorgängers, die wissenschaftlichen Methoden werden verfeinert, und ganz neue Fragestellungen kommen auf. Das Augenmerk des jüngeren Forschers ist auf früher unkannte Erscheinungen, in diesem Fall auf früher nicht für wissenschaftliche Methoden erreichbare Formverhältnisse eingestellt. So ist O. Maull Geomorphologe, wie es seit Davis' großer Anregung und seit Davis' Beispiel in unserer Wissenschaft üblich ist. Nachdem durch F. v. Richthofen die Beziehung der Oberflächenformen zur Tektonik in den Vordergrund des Interesses gestellt worden war, hat Davis die geologisch längst bekannte Tatsache der erosiven Niederlegung ganzer Gebirgsländer in ihrer wahren Bedeutung für die Oberflächenentwicklung klargestellt. Der Begriff der Peneplain (Fastebene) deckte sich annähernd, da von einem andern Gesichtspunkte heraus abgeleitet, mit dem Begriff der Rumpflfläche, wie er durch v. Richthofen in der Auflagerungsfläche des deutschen Deckgebirges auf den sog. Rumpfhorsten erkannt worden war. Davis lehrte solche Rumpflflächen auch als Abtragungsoberflächen von Gesteinstafeln und selbst von jungen Beckenausfüllungen kennen. Die kursorische Erforschung nordamerikanischer Weiten hatte die Verbiegung und sonstige Störung solcher alten Rumpflflächen beobachten gelehrt und so unsere Wissenschaft nicht nur bereichert, sondern geradezu eine neue Wissenschaft, eine neue Methode geschaffen. Ohne Davis wäre weder Maulls noch Philippons jüngere



noch irgendeine andere geomorphologische Arbeit, wie sie nun vorliegt, denkbar. Es ist nötig, dies einmal auszusprechen, weil einesteils in einer Arbeit wie der *Maulls* der Name *Davis* nicht mehr erwähnt wird, wahrscheinlich weil mit seiner sog. Methode gerechnet wird, wie mit der Deszendenz, der Wahrscheinlichkeit oder ähnlichen Denkformen, andernteils weil es Mode geworden ist, wegen unrichtiger oder vermeintlich unrichtiger Diagnosen in Einzelfällen die Methode anzugreifen, als ob eine unrichtige ärztliche Diagnose etwas gegen die ärztliche Kunst überhaupt besagen wollte. Auch die Davissche Methode muß ausgebaut und verfeinert werden. Auch muß betont werden, daß z. B. das Wort „*Peneplain*“ in der amerikanischen Literatur, der Bequemlichkeit halber, einfach statt „*Erosionsniveau*“ gebraucht worden ist — obwohl das keinen Schaden getan haben wird, da jedermann wußte, was gemeint war! —, aber es bleibt selbstverständlich dabei, daß die geomorphologische Arbeit hüben wie drüben dem Ausbau eben gerade der Davisschen Methode dient.

Die Abhandlung von *O. Maull* nun stellt eine auf Grund zwei- bis dreimaliger Durchquerung und eingehender Längsbereisung Mittelgriechenlands erhaltene morphologische Übersichtskartierung dar, mit den nötigen Behelfen und Hilfskärtchen, als da sind wichtige morphologische Profile, morphogenetische Kärtchen, Darstellungen der hydrographischen Entwicklung und des Gesteinscharakters. Die Photographie spielt nicht mehr die Rolle wie noch vor einem Jahrzehnt, wir sind von der wahllosen Aufnahme und Wiedergabe landschaftlicher Eindrücke wieder mehr zur gedanklichen Durchdringung zurückgekehrt. Es soll auch nicht verschwiegen werden, daß eine, wenn auch bescheidene Stelle in der Illustration der Darstellung der Reisewege gewidmet ist. Auch das ist wichtig, damit der Leser den Umfang der originalen Beobachtung und Schlußsetzung mühelos beurteilen kann. Das Ausgangsgebiet für die morphologische Beurteilung mußte der Peloponnes sein: liegt doch hierfür in *Philipppsons* Routenbeschreibungen und Karten eine unvergleichliche Grundlage vor!

Gleich die zuerst betrachtete Landschaft, die Ost-arkadische Grabensenkung, zeigt den Fortschritt der landschaftskundlichen Erkenntnis. Wie an andern Stellen der Erdoberfläche, wird auch hier deutlich gemacht, daß die heutige Beckenreihe nur noch Ort und Richtung des alten Senkungsfeldes anzeigt, daß aber weder die weiter rückwärts liegenden Steilwände des Gebirges zu beiden Seiten, noch die Gehänge der in diesem Senkungsfeld angeordneten abflußlosen Wannen wirkliche tektonische Stufen sind. Die heutigen Wannen sind durch den Verkarstungsprozeß entstandene „*Uvalas*“ oder Karstpolen innerhalb einer Abtragungsfäche, der von *Maull* sog. Randfläche von etwa 900 m Meereshöhe, über die die eigentlichen Gebirge als nicht eingeebnete Partien hervorragen. Also auch hier die Reihenfolge: Faltung mit untergeordneten tektonischen Vorgängen, in diesem Falle Grabenbildung — Abtragung, d. h. Ausbildung einer spätreifen Landschaft — Hebung, Zerschneidung dieser Oberfläche, in unserm Falle durch den Karstprozeß zu abflußlosen Wannen. Trotz der Unsicherheit der Altersbestimmung der griechischen Tertiärschichten wagt *Maull* eine Datierung aller Vorgänge. Das Überraschende ist, daß die morphologische Methode bisweilen zu gerade entgegengesetzten Ergebnissen kommt als die früher geübte, geologische. Während noch *Philipppson* aus dem Fehlen jungtertiärer Ablagerungen in diesen Becken auf

postneogene Entstehung der Becken schließen mußte, zeigt *Maull*, daß im Gegenteil die Grabenbildung viel älter als das Neogen sein muß, älter als die Abtragung. Hochinteressant ist ferner, wie ein tektonischer und erosiver Zusammenhang zwischen dem Becken von Megalopolis und dem Eurotasgraben wahrscheinlich gemacht wird, wobei zugleich auf die Entstehung bestimmter Talwasserscheiden Licht fällt, sowie eine ältere, nach Süden gerichtete Hydrographie für die peloponnesische Rumpfwellenfläche erwiesen wird. Hierdurch werden dann auch gewisse, jedem Betrachter der Karte sofort als widersinnig auffallende Flußrichtungen der heutigen Hydrographie erklärt. Auf Einzelheiten kann in diesem Bericht nicht eingegangen werden, es muß genügen, darauf hinzuweisen, daß der Verfasser den Peloponnes in seiner Gesamtheit, auch seitab von seinen Reisewegen morphologisch beschreibt, auf Grund von *Philipppsons* Darstellung wird ihm das ja möglich. Neu ist die Entdeckung und teilweise Kartierung der Eiszeitspuren in den Hochgebirgen Olonos, Chelmos, Ziria und Taygetos.

Weniger befriedigend waren die Grundlagen der morphologischen Umdeutung, und sind die Grundlagen mitarbeitender Lektüre für Mittelgriechenland. *Bittners* Studien im östlichen und die von *Neumayr* im westlichen Mittelgriechenland hatten eben geologische, aber nicht zugleich auch topographisch-kartographische Ziele und Ergebnisse. So hatte der Verfasser hier mehr aus dem Vollen oder vielmehr aus dem Leeren zu schaffen, mit Ausnahme von Attika, das topographisch wie geologisch gut durchforscht und dargestellt ist. Gerade Attika wird auch sehr deutlich gekennzeichnet, und zwar im Südosten, im Laurischen Bergland, als eine ziemlich tief liegende Rumpffläche, während im Westen und Norden das Land einesteils nicht so stark eingeebnet werden konnte, andernteils die starke, seitdem einsetzende Hebung durch selektive Erosion die bekannte Inselberglandschaft hat entstehen lassen (Parnas, Hymettos usw.). Auch hier kann auf Einzelheiten nicht eingegangen werden, nur daß die Kephisosfurche eine auffällige Parallele zur Eurotassenke darstellt, sei hier erwähnt, sowie die epigenetische Zerlegung der Furche in einzelne Kammern. Besonderes Interesse bieten dem Morphologen dann wieder die Hochgebirge Parnas, Giona und Vardussia. Parnas und Giona werden aus einer ursprünglich zusammenhängenden Hochfläche erklärt, über der die Gipfelplateaus als „*Fernlinge*“, d. h. als ihrer Lage wegen von der Abtragung noch nicht erreichte Massen stehen geblieben sind. Auch hier sind die Gipfelmassive durch Karsterosion gegliedert und zugeschärft, ebenso wie in der bereits kettenmäßig angeordneten, zum westgriechischen Faltengebirge gehörigen Vardussia. Eine kurze Charakteristik des faziell und daher auch erosiv so schön gegliederten Ätoliens schließt den speziellen Teil, und während den Beginn des Ganzen gewissermaßen eine Darstellung des geomorphologischen Rüstzeugs gebildet hatte, faßt der Verfasser zum Schluß in „*Morphogenetischen Tabellen*“ sowie in drei Abschnitten des Textes die Entwicklung des fluviatilen, des karstmorphologischen und des glazialen Formenschatzes in maßvoller und kritischer Weise zusammen. So ist diese Arbeit berufen, in der Eiszeit- wie in der Karstforschung eine Rolle zu spielen, und daß sie dem Liebhaber klassischer Landschaften viel geben wird, und eine Grundlage der regionalen Geographie Griechenlands darstellen wird, darüber braucht man wohl keine Worte zu verlieren.

K. Oestreich, Utrecht.



Kofoid, Charles Atwood, and Olive Swezy, *The free-living unarmored Dinoflagellata*. Memoirs of the University of California. Berkeley, University of California Press, 1921. VIII, 562 S., 388 Figuren und 12 Tafeln. Preis \$ 12,50.

Dieses für die gegenwärtige Kenntnis der Peridinales außerordentlich wichtige Werk enthält eine Monographie der bisher bekanntgewordenen freilebenden unbeschalteten Dinoflagellaten nach Studien der marinen Formen aus der San-Diego-Region des pazifischen Ozeans, die in der biologischen Station des Scripps Institutes für biologische Forschung angestellt wurden. In 9 Kapiteln werden Morphologie, Anatomie und Physiologie dieser Organismen sowie ihre Fortpflanzung und Entwicklung, ihre geographische Verbreitung und ihre systematische Einteilung ausführlich und kritisch behandelt. Die übrigen 11 Kapitel enthalten die Beschreibungen der einzelnen Gattungen und Arten unter Angabe der Synonyme. Die betreffenden Formen werden teils als Textfiguren, teils auf prächtigen, farbigen Tafeln in starker Vergrößerung abgebildet. Im ganzen enthält die Bearbeitung 223 Arten in 16 Gattungen, von denen 117 Arten und 7 Gattungen neu sind. Es ist den Verfassern gelungen, eine Menge neuer Ergebnisse, namentlich über die Abstammung, den feineren Bau und die systematische Stellung dieser Organismen festzustellen. Die Dinoflagellaten werden zunächst in zwei Hauptgruppen eingeteilt, nämlich in die Adiniferidea und in die Diniferidea. Erstere gliedern sich wieder in Athecatoidea und in die Thekatoidea und letztere in die Gymnodinioidae, die Amphiloithioidae, die Peridiniidae und die Cystoflagelloidae. Die unbeschalteten Dinoflagellaten sind primitiver als die gepanzerten. Während das Genus *Erythropsis* unter den schalenlosen Formen phylogenetisch am höchsten steht, ist das neue Genus *Protodinifer* eine der einfachsten Formen mit vorderer, differenzierter Geißel und nur teilweise und schwach entwickelter Gürtelfalte, eine Form, die manche Ähnlichkeit mit den Adiniferidea zeigt und den Ursprung sowohl der Adiniferidea wie der Diniferidea von unbeschalteten, ihnen ehemals nahestehenden, noch niederen Formen vermuten läßt. Die Dinoflagellaten haben sich allem Anscheine nach aus einfachen, 2geißeligen Flagellaten entwickelt, und zwar aus Verwandten gewisser Gattungen von Cryptomonaden, z. B. *Wysozchia* und *Protochrysis*. Bei den Dinoflagellaten ist eine Differenzierung der zwei ursprünglich gleichen vorderen Geißeln eingetreten, von denen sich die eine bandähnlich mit kurzen Wellungen als Transversalgeißel umgebildet hat, während die andere Geißel zur longitudinal gerichteten Schleppgeißel geworden ist. Diese Geißeln mit den beiden Kanälen der Körperoberfläche, in denen sie liegen, treten als Oberflächenorgane in aktiven Kontakt mit ihrer Umgebung. Sie werden bei der weiteren Entwicklung der Gattungen stark umgewandelt und sind nur für diese charakteristisch. Jene Umwandlungen bestehen außerdem noch in einer schrittweisen Verlängerung des Gürtels bei gleichzeitiger Drehung des Körpers in eine Linksspirale bis zu 4 Umdrehungen. Es findet auch eine fortschreitende Drehung des Sulcus oder der Längsfalte und eine Verlängerung des Körpers in Apex und Antapex statt, die im Genus *Cochlodinium* ihren Höhepunkt erreichte. Hin und wieder ist bei den unbeschalteten Dinoflagellaten eine Neigung zur Ablagerung verschiedener Pigmente zu beobachten. Die einfachen Formen sind grün, gelb oder braun gefärbt, während sich die Farbe von vielen der komplizierteren dem roten Ende des Spektrums nähert. Zuweilen tritt

ein rotes Stigma auf, und in der Nähe der Gürtelfalte finden sich mitunter sogar ocellenartige Gebilde. In den Gattungen *Protopsis*, *Pouchetia*, *Protertythropsis* und *Erythropsis* ist eine orthogenetische Entwicklung des Ocellus wahrnehmbar, bei der dieser immer mannigfaltiger zusammengesetzt ist. Nematocysten sind ausgebildet bei *Polykrikos* und *Nematodinium*. Bei den meisten Gattungen kommt gelegentlich holozoische Ernährung vor, jedoch bei den höher stehenden Formen ist diese fast ausschließlich vorherrschend. *Noctiluca* wird von den Verf. zu den Gymnodinioidae gerechnet, und die Cystoflagellaten *Haecckels* sollten darauf beschränkt werden, daß sie nur die Gattungen *Leptodiscus* und *Craspedotella* umfassen.

Br. Schröder, Breslau.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Gustav Lilienthals Erklärung des Segelfluges.

In Heft 6 der „Naturwissenschaften“, Jahrgang 1922, erörtert Th. von Kármán die Pulsationstheorie des Segelfluges als die Erklärung dieser Erscheinung und fertigt, offenbar ohne hinreichende Einsichtnahme in die von Gustav Lilienthal gegebene Darstellung — die der Öffentlichkeit in zahlreichen Zeitschriftenaufsätzen und Vorträgen mitgeteilt wurde — die m. E. einfachere und den Tatsachen mehr gerecht werdende Lilienthalsche Erklärung als nicht ernst zu nehmendes Hirngespinnst des „kleinen Bruders eines großen Mannes“ ab.

Der „geheimnisvolle“ Vorwärtsschub ist nicht von Lilienthal mit dem Mantel der Mystik umkleidet worden, sondern gerade zum guten Teil davon entkleidet worden: Durch sinnreiche Fähnchenversuche an Tragflächen nach der Form der Segelflügel wurde die schon vorher festgestellte Gegendruckrichtung des Windes nach vorn und oben auf eine widerhornähnliche Wirbelbewegung der Luft unter der Flügelfläche zurückgeführt — und so erklärt. Die Frage kann nur sein, wie die Auftrieb-Vortrieb-Richtung des Windgegendruckes überhaupt möglich ist, wenn der Wind keine nach oben gerichtete Bewegungsrichtung zeigt — für eine aufsteigende Windbewegungsrichtung kann ja die Umlenkung der Windkrafttrichtung auch von von Kármán nicht geleugnet werden. Dazu weist Gustav Lilienthal auf die Wirkung ungleichmäßig strömender Stoffe hin, besonders ausgedehnte Körper nach der Stelle größerer Strömungsgeschwindigkeit hin anzusaugen: es muß also infolge der ungleichmäßigen Strömung eine Druckrichtung nach der Stelle größerer Geschwindigkeit hin auftreten, die demnach in der Luft nach oben gerichtet sein muß und so wirkt, als käme die Luft schräg von unten.

Diese Erklärung paßt auch auf die Fälle des Segelns, wo wegen der merklichen Entfernung von der Erdoberfläche Windstärkeschwankungen nicht wahrscheinlich und wellenförmige Flugbewegungen der Segler nicht beobachtet worden sind, d. h. besonders für das Segeln in gerader Linie über dem Meere in merklicher Höhe fern von Schiffen. Damit ist nicht gesagt, daß die Vögel die Windstärkeschwankungen nicht gelegentlich ausnutzen, wenn sie sich ihnen bieten.

Berlin-Lichterfelde, den 19. Februar 1922.

Oskar Prochnow.

### von Kármáns Erklärungen des Segelflugs.

Wie sich die Leser der „Naturwissenschaften“ erinnern werden, hatte ich in Nr. 47, 1916, die Ergebnisse meiner jahrelangen Untersuchungen über den Stromlinienverlauf über und unter nicht „geheimnis-



vollen“, sondern *vogel-/flügelartigen* Flächen veröffentlicht. Durch meine Arbeiten ist erwiesen und aus den photographischen Aufnahmen zu ersehen, daß solche Flächen vom Wind angehoben und gegen die Windrichtung vorgetrieben werden.

Meine schon 1910 veröffentlichte Entdeckung über den verstärkten Auftrieb von Flächen mit besonders verdicktem Vorderrand, *analog den Flügeln der Segler* wird heute von allen größeren Flugzeugwerften des In- und Auslandes ausgenutzt.

Ich bekenne mich daher mit Stolz zu dem von Herrn *Kármán* bezeichneten „kleinen Bruder eines großen Mannes“, dessen Studiengenosse und Mitarbeiter von frühesten Jugend bis zu dessen Tode ich gewesen bin. Sollte Herrn *Kármán* dies nicht bekannt sein, so empfehle ich ihm die Lektüre des von meinem Bruder unter meiner Mitarbeit herausgegebenen Buches „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“<sup>1)</sup>.

*Kármán* beschreibt den Versuch mit der hin und her bewegten Wellenbahn, den vor ihm schon *Lancaster* als Erklärung des Segelflugs angeführt hat. Der Vergleich der Wirkung dieses Experimentes mit dem Segelflug hinkt insofern, als man es bei der Bewegung der Luft keineswegs immer mit Böen zu tun hat, bei welchen die Luft wie die Schwingungen des Pendels allmählich zu- und abnehmen. Die Bö setzt meistens plötzlich ein und behält die große Geschwindigkeit eine Zeitlang und flaut dann allmählich ab. Die Flaute währt länger als die Bö mit ziemlich gleichmäßiger Geschwindigkeit. Natürlich kommen auch allerlei Variationen vor. In den Höhen, wo die Vögel über Land segeln oder über dem Meer auch in niedrigen Lagen, sind die Kontraste geringer als in Erdnähe. Der gleichmäßige Zug der Wolken läßt mit Recht darauf schließen, daß in dieser Höhe die Böen fast aufhören, und doch kann man Segler in den Wolken verschwinden sehen.

Ganz hinfällig wird der Vergleich aber, wenn ein wellenartiger Flug vorausgesetzt werden muß.

Wo, und an welchen Vögeln, hat Herr *Kármán* einen wellenartigen Segelflug (nicht Gleitflug) beobachten können?

Auch beim Segeln in gerader Bahn soll der Vogel eine Wellenbewegung ausführen. Eine solche Flugbahn ist bei den Seglern durchaus nicht zu beobachten. Auch beim Kreisen sinkt der Vogel nicht, wenn er in der Windrichtung fliegt, sondern er hält sich in gleicher Höhe. Hierüber habe ich in Rio ganz besondere Beobachtungen angestellt, da ich damals gerade von der Wellenflugtheorie *Lancasters* erfuhr. Von der Höhe des Corcovado, 700 m über der Bai von Botafogo, konnte ich Fregattvögel und Geier in großer Anzahl täglich beobachten. Oft befand ich mich in gleicher Augenhöhe mit den Vögeln, eine wellenartige Flugbahn hätte mir nicht entgehen können. Haben die Vögel eine gewisse Höhe erreicht, so behaupten sie diese in allen Richtungen ihrer kreisenden Bahn. Der Fliegeroffizier *Fritz Hammer* berichtet von der Begegnung mit Seeadlern, die er über der Nordsee in der Nähe des Flugzeuges minutenlang flügel-schlaglos in gleicher Höhe bleibend beobachten konnte. Von einem der zwanzig Meter hohen Turmgerüste meiner Versuchstation am Stettiner Haff konnte man die dort nistenden Störche in gleicher Höhe bleibend häufig geradlinig vorübersegeln sehen; eine wahre Augenweide für Kenner. Was sagt der ausgiebigste Vogelbeobachter Dr. *Hankin* über die großen Segler Indiens in bezug

auf die Höhenlage? „In some cases in leelooping the bird appears to gain height during the whole of the loop. That is to say, it gains height not only while facing the wind but also when going with the wind; in short, during the whole time that it is on a curved course“<sup>2)</sup>.

Die Entstehung des Vortriebs gegen den Wind und der Überwindung des Stirnwiderstandes ist theoretisch vergeblich angestellt und durch Experimente ganz und gar nicht erprobt worden. Der Rückwärtsdruck einer abwärts geneigten Windströmung ist günstigstenfalls bei  $-8^\circ$ , wenn man unsere Messung des Widerstandes im freien Wind anerkennt, gleich dem Vortrieb einer Windrichtung von  $+8^\circ$ , somit entsteht noch kein Vortriebsüberschuß.

Die Behauptung *Kármáns*, daß ich den Segelflug ohne den Nachweis einer Kraftquelle erklären will, beweist mir die Oberflächlichkeit seines Urteils und die Unkenntnis der zuständigen Literatur. Er müßte sonst wissen, daß ich den von uns Brüdern zuerst nachgewiesenen Auftrieb des Windes (siehe Vogelflug, Kap. 33) immer als Energiequelle bezeichnet habe. Dieser Auftrieb wurde auch 1910 von Prof. *Angot* während einer ein Jahr langen Dauermessung auf der obersten Plattform des Eiffelturmes in gleicher Größe, wie wir ihn gefunden hatten, festgestellt.

Weshalb verlegt man die Versuche der aerodynamischen Anstalten vom Windkanal nicht in den freien Wind, wenn man über die Wirkung des Windes sich Kenntnisse verschaffen will?

Berlin-Lichterfelde, den 27. Februar 1922.

Gustav Lilienthal.

\* \* \*

Sehr geehrte Redaktion!

Den böigen Sturm der Entrüstung, der in den oben abgedruckten Äußerungen der Herren *G. Lilienthal* und *O. Prochnow* über mein armes Haupt zusammenschlägt, würde ich in Ergebung über mich ergehen lassen, falls sie nicht den Vorwurf einer leichtsinnigen Behandlung und Unkenntnis der flugtechnischen Literatur enthielten.

Ich zitiere daher die Worte des Herrn *G. Lilienthal* anläßlich der zweiten Tagung der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt (Jahrbuch der W. G. L., II. Bd., S. 115, 1913/14).

„Ich habe durch Versuche an einem Rundlauf, die in einer der nächsten Nummern der Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt veröffentlicht werden sollen, die Wirbelbildung unter einer vogel-/flügelartigen Fläche untersucht, indem ich durch angebrachte kleine Fähnchen die Strömungsrichtung an den einzelnen Stellen beobachtete. Ich habe dabei die Entstehung eines großen ovalen Wirbels nachweisen können, welcher nicht nach rückwärts abwandert, sondern dessen Wirbelfluft quer gegen die Bewegungsrichtung abfließt und auf diese Weise eine Tragwirkung auf die schräg gegen diese Strömung stehende Wurzel und Spitze der Fläche ausübt, während in der Mitte der Wirbelströmung ein nach vorn, also entgegen der Bewegungsrichtung gerichteter Druck ausgeübt wird.“

Nach meinem einfachen Verstand heißen diese Worte soviel, daß die Wirbelbildung bei gewissen Profilen (der sog. „Widderhornwirbel“ des Herrn *Lilienthal*) einen Vortrieb erzeugt. Daß die Erscheinung des Vortriebs wenigstens nach Herrn *Lilienthals* damaliger Ansicht eine Energiequelle nicht voraussetzt, folgt daraus, daß er seine erwähnten Versuche im geschlossenen

<sup>1)</sup> R. Oldenbourg's Verlag, München, II. Auflage.

<sup>2)</sup> Birds flight S. 35.

Raum mit einem Rundlaufapparat durchgeführt hat. Der Wind soll dann die auch im geschlossenen Raum vorhandene Vortriebswirkung in verstärktem Maße hervorrufen.

Fernerhin möchte ich den Strich, den ich mir erlaubt habe zwischen *Otto Lilienthal* und Herrn *G. Lilienthal* zu ziehen, noch etwas verstärken:

a) *Otto Lilienthal* schreibt über die Möglichkeit des Segelfluges (Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst, 2. Aufl., S. 126) wie folgt:

„Es muß ein Wind von mittlerer Geschwindigkeit wehen, welcher dann durch seine aufsteigende Richtung die Luftwiderstandsrichtung so umgestaltet, daß der Vogel zu einem Drachen wird, der nicht nur keine Schnur gebraucht, sondern sich sogar frei gegen den Wind bewegt.“

b) *Gustav Lilienthal* fügt hinzu:

„Die aufsteigende Richtung des Windes nennt es mein Bruder; ich definiere etwas anderes, ich sage: die Eigenschaft des Windes, auf schwebende Körper einen Auftrieb zu äußern.“

In ähnlicher Weise spricht Herr *Prochnow* von der Wirkung „ungleichmäßig strömender Stoffe, besonders ausgedehnte Körper nach der Stelle größerer Strömungsgeschwindigkeit hin anzusaugen“.

Ich überlasse dem wohlwollenden Leser selbst zu beurteilen, ob die unter b) angeführten Äußerungen für etwas anderes als für eine mystische Umgestaltung der klaren Worte *Otto Lilienthals* anzusehen sind.

Daß im freien Wind ein Vortrieb entstehen kann, ist wohl keine Entdeckung des Herrn *G. Lilienthal*. In dem von den beiden Herren so geschmähten Artikel über motorlosen Flug habe ich in ganz bescheidener Weise diejenigen Überlegungen verschiedener Forscher wiedergegeben, welche mit den Grundsätzen der Mechanik verträglich sind und einen solchen Vortrieb erklären: durch Berücksichtigung der aufsteigenden Komponente und der zeitlichen und örtlichen Schwankungen des Windes nach Richtung und Größe. Falls Herr *Lilienthal* diese Energiequellen heranzieht, so sind wir einer Ansicht; falls er dagegen den „Wind“ schlechthin als Energiequelle ansieht, so begibt er sich auf Gebiete, auf welche ich mit meinem — wie ich gerne zugestehende — beschränkten, durch Kenntnis einiger mechanischer Sätze immerhin eingegangenen Fassungsvermögen nicht zu folgen vermag.

Aachen, den 25. März 1922.

In aufrichtiger Hochachtung!

Th. v. Kármán.

### Gesundheitsschädlichkeit der Magnet-Wechselfelder.

In den „Naturwissenschaften“ vom 3. d. Mts., Seite 213, finde ich in einem Referat „Sind die in der Industrie verwendeten Magnet-Wechselfelder gesundheits-schädlich?“ die Bemerkung, daß bei magnetischen Wechselfeldern eine Flimmererscheinung auftritt, daß aber die Ursachen hierfür noch nicht gefunden sind.

Ich kann dem nicht zustimmen; Versuche, die ich im Prüffeld der Fabriken Brunnenstraße der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft hierüber habe anstellen lassen, führten zu dem Ergebnis, daß die Flimmererscheinungen auf elektrische Ströme zurückzuführen sind.

Die Versuchsanordnung war die folgende: Bei einem zwischenkligen Kern-Transformator war das obere Joch entfernt, so daß sich die magnetischen

Kraftlinien durch die Luft schließen mußten. Die Feldstärke betrug hierbei etwa 500 c.g.s. — Brachte man nun den Kopf in dieses Magnetfeld, so beobachtete man in Abhängigkeit von der Wechselzahl des Magnetfeldes ein Flimmern, welches zwischen 25 und 50 Perioden am besten wahrzunehmen war. Bei niedrigeren und höheren Periodenzahlen verschwand dieses Flimmern; setzte man sich aber allzulange dem Einfluß des magnetischen Wechselfeldes aus, so stellten sich Kopfschmerzen ein.

Die Erklärung scheint mir die folgende zu sein: Die magnetischen Wechselfelder erzeugen im Gehirn, da dieses eine elektrische Leitfähigkeit besitzt, Wirbelströme, Treiben diese Wirbelströme die Augennerven, so rufen sie die Flimmererscheinungen hervor. Es sind also elektrische Reizungen, die nur durch die wechselnden Magnetfelder erzeugt werden und nicht direkte magnetische Einwirkungen auf das Nervensystem.

Berlin, den 9. März 1922.

L. Fleischmann.

### Zum „Einstein-Film“.

Hier in Berlin und auch in anderen Städten wird zurzeit ein Film vorgeführt, welcher den Zuschauer in den Gedankenkreis der Relativitätstheorie einführen soll. Er hat nach den Mitteilungen des Vortragenden die Länge von mehr als 2 Kilometern und seine Vorführung dauert nach der Erfahrung des Referenten über zwei Stunden. Diese Zeit ist viel zu lang, als daß ein Laie sich in ihr auf diese Überlegungen konzentrieren könnte, und viel zu kurz, um selbst einem Wissenschaftler von Beruf, falls er sie etwa noch nicht kennt, sie überzeugend klar zu legen. Aber auch der idealste Zuhörer könnte dabei zu keinem wirklichen Verständnis der Theorie gelangen, weil die Darstellung in wesentlichen Punkten falsch ist. Wir heben zwei, die uns in der Erinnerung geblieben sind, hervor. Einmal ist das Ergebnis des Fizeauschen Interferenzversuchs am strömenden Wasser unrichtig wiedergegeben; vom Mittelführungskoeffizienten ist dabei keine Rede. Sodann werden zwei Bezugssysteme als Eisenbahnwagen und Eisenbahnbrücke dargestellt, in jedem zwei Uhren, die einen gewissen Abstand in der Bewegungsrichtung haben. In dem Augenblick, in welchem die Uhren an den Wagenenden mit denen auf der Brücke zusammenfallen, zeigen sowohl die am Wagen, wie die an der Brücke, unter sich die gleiche Zeit — im Widerspruch gegen die Lorentztransformation:

$$t' = (t - \frac{v}{c^2} x) : \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Bei alledem hatte der Referent den Eindruck, daß der physikalische Lehrfilm bei Beschränkung auf kürzere, weniger schwierige und anschaulichere Thematika Gutes wirken kann — freilich unter einer, hier nicht erfüllten Bedingung. Der Vortragende muß die Ablaufgeschwindigkeit des Films, während er spricht, beherrschen. Es ist ein Unding, daß er die Geschwindigkeit, mit der er vordenkt — und das soll ein guter Vortragender doch tun — von dem Mechanismus des Kinematographen abhängig macht. Tatsächlich kamen auch Phasenverschiebungen vor, zwischen dem, was man sah, und was man hörte. Daß sie nicht groß wurden, spricht für die Geschicklichkeit des Vortragenden, dürfte aber durch Opfer am Inhalt seiner Ausführungen erkauft sein.

Berlin, den 6. April 1922.

M. v. Laue.



## Botanische Mitteilungen.

Die **rheinischen Hieracien**. Die Systematik der Gattung *Hieracium* (Habichtskraut) hat durch die Aufspaltung der einzelnen Arten in eine Fülle von Unterarten eine Entwicklung genommen, die es dem Nichtspezialisten schwer macht, sich auf dem Laufenden zu halten und des erdrückenden Formenreichtums Herr zu werden. Erschwerend tritt hinzu, daß unser einheimisches Florengebiet in dieser Richtung noch keineswegs einheitlich durchgearbeitet ist, so daß für größere Teil detaillierte Standortangaben ausstehen. Es wird noch lange dauern, bis hier das Endziel erreicht ist. Einen wesentlichen Schritt vorwärts stellt eine Abhandlung des *Hieracium*-forschers *Touton* (Jahrb. d. Nassauischen Ver. f. Naturk. 73, 1920) dar, die eine Vorarbeit zu der im Erscheinen begriffenen Flora von Westdeutschland ist. Die systematische Gliederung fußt auf den bekannten Arbeiten von *Nägeli*, *Peter* und *Zahn* und bringt eine Menge neuer, meist vom Verfasser selbst ermittelter Standorte, die sich auf die rheinischen Gebiete (Rheinpfalz, Rheinhessen, Hessen-Nassau, Westfalen) beziehen. Zur Ergänzung werden auch badische Standorte nach den Funden von *Zahn* angeführt. Neben bereits bekannten Arten, Unterarten und Varietäten enthält die Aufzählung auch verschiedene neue Formen, die eingehend beschrieben werden. Wertvoll ist, daß das Manuskript von *Zahn* durchgesehen wurde. Das hat zu einer Reihe von kritischen Bemerkungen geführt, die anhangsweise beigegeben werden. Vorläufig handelt es sich noch um eine erste Mitteilung, die sich mit der Untergruppe der *Piloselloiden* beschäftigt und der eine Fortsetzung folgen wird.

Die **wasserlöslichen Farbstoffe der Schizophyceen**. In einer eingehenden Untersuchung<sup>1)</sup> beschäftigt sich *Boresch* mit den Farbstoffen der Spaltalgen (Schizophyceen — Cyanophyceen). Er konnte feststellen, daß neben dem blaugrünen Farbstoff, dem Phycocyan, dem die Gruppe ja den Namen „Cyanophyceen“ verdankt, auch ein roter Farbstoff, das Phycoerythrin, in vielen Fällen zu konstatieren ist. Das verrät sich spektrophotometrisch sehr leicht dadurch, daß in diesem Falle zwei Absorptionsmaxima auftreten, eines im Rot bei ca. 615–625  $\mu$ , das dem Phycocyan entspricht, ein zweites im Grün bei ca. 560  $\mu$ , welches dem Phycoerythrin angehört. Daß es sich bei dem Erythrin der Schizophyceen um ein anderes handelt als bei den Rotalgen, ist aus der Tatsache zu ersehen, daß bei den Rhodophyceen drei verschiedene Absorptionsmaxima im Rot vorhanden sind, nämlich bei 569/65, 541/37 und 498/92. Das Maximum des Cyanophyceenerythrins liegt also zwischen dem ersten und zweiten. Die beiden Farbstoffe der Schizophyceen können mit bestimmten Methoden isoliert gewonnen werden. *Boresch* stellt nun drei Gruppen von Spaltalgen auf, je nach dem Farbstoffbefund. Bei der ersten ist bloß Phycocyan vorhanden, bei der zweiten sind beide Farbstoffe in wechselndem Verhältnis gemischt, so daß bald das eine, bald das andere Maximum dominiert. Oft ist das Vorhandensein der einen der beiden Komponenten nur noch an einer Unstetigkeit der Kurve erkennbar. Bei der dritten Gruppe fehlt das Phycocyan oder es ist bloß noch in nicht mehr sicher nachweisbaren Spuren anwesend. Manche Cyanophyceen erweisen sich in bezug auf diese Verhältnisse als recht konstant, andere sind weitgehend variabel. Das Ver-

halten der Farbstoffe kann also mit der nötigen Vorsicht als systematisches Merkmal verwendet werden. Eine deutliche Abgliederung von den Rhodophyceen allein auf Grund der Farbstoffführung ist nicht möglich. Dem entspricht auf der anderen Seite, daß auch bei den Rotalgen neben dem dominierenden Erythrin als Beimischung manchmal Phycocyan auftritt. Deshalb schlägt *Boresch* vor, die Bezeichnung „Cyanophyceen“ aufzugeben.

Über die **Befruchtungsvorgänge bei homosporen Farnen** existieren zwar in der Literatur eine Menge von einzelnen Angaben, dagegen fehlt es noch an einer eingehenden experimentellen Bearbeitung der ganzen Frage. Diese Lücke auszufüllen, ist das Ziel einer neuen Arbeit von *Czaja* (Über Befruchtung, Bastardierung und Geschlechtertrennung bei Prothallien homosporer Farne, Zeitschr. f. Bot. 13, 1921), die sich auf die Gattungen *Blechnum*, *Gymnogramme*, *Ceratopteris* und *Pteridium* bezieht. *Czaja* zeigt hier, daß der Geschlechtscharakter der untersuchten Prothallien (Vorkeime) in hohem Maße von den Kulturbedingungen abhängig ist, und daß es insbesondere der Experimentator in der Hand hat, ein und dieselbe Form zwittrig oder diöcisch zu züchten. Auf diese Weise finden eine Reihe von Widersprüchen in der vorhandenen Literatur ihre Erklärung. *Czaja* konnte zwei Typen von Farnen nachweisen, bei dem einen treten unter optimalen Kulturbedingungen zwittrige Prothallien auf, beim anderen dagegen rein weibliche. In beiden Fällen werden nebenher noch männliche Kümmerprothallien gebildet, die ja im letzten Fall ökologisch notwendig sind, weil sonst keine Befruchtung eintreten könnte. Es gelang auch, männliche und weibliche Vorkeime nachträglich in Zwitter umzukultivieren. Hiermit stehen die homosporen Farne in einem strengen Gegensatz zu den diöcischen Moosen und zu den heterosporen Farnen (beispielsweise *Selaginella*, *Salvinia*), bei denen der Geschlechtscharakter der Prothallien eindeutig determiniert ist. Ferner behandelt *Czaja* die in der Literatur vielfach erörterte Frage der autogamen und xenogamen Befruchtungsweise. Beide Modi der Befruchtung waren im Experiment von Erfolg begleitet. Da es zum Gelingen der xenogamen Befruchtung nötig ist, daß zwei benachbarte Prothallien durch eine dünne Wasserhaut miteinander in Verbindung stehen, damit die Spermatozoiden bis zu den Archegonien vordringen können, so liegen in der freien Natur die Verhältnisse sehr ungünstig für das Zustandekommen dieses Vorgangs, und deshalb vertritt *Czaja* die Auffassung, daß die Xenogamie unter natürlichen Bedingungen sehr selten eintritt und daß auch die Diöcie, die ja xenogame Befruchtung voraussetzt, normalerweise nur vereinzelt auftritt. Mit der Schwierigkeit xenogamer Befruchtung hängt es auch zusammen, daß Farnbastarde bisher so selten beobachtet wurden. Im Experiment freilich wurde das Eindringen artfremder Spermatozoiden in Archegonien schon wiederholt erwähnt, und so gelang es auch *Czaja*, eine Kreuzung zwischen *Gymnogramme chrysophylla* und *G. sulphurea* herzustellen. Es ist das der erste sichergestellte Fall dieser Art. Schließlich untersuchte *Czaja* noch die Regenerate von Prothalliumfragmenten, die bloß lebende Zellen entweder des Archegoniums oder des Artheridiums enthielten, um über ihren Geschlechtscharakter Aufschluß zu erlangen und zu ermitteln, ob hier vielleicht geschlechtliche Determination eintritt. In beiden Fällen entstanden zunächst rein männliche Prothallien, die aber in Zwitter umgewandelt werden konnten,

1) Biochem. Zeitschr. 119, 1921.



also sowohl Anlagen für das männliche wie auch für das weibliche Geschlecht enthielten.

**Heterogamie im weiblichen Geschlecht und Embryosackentwicklung bei den Oenotheren.** Neuere Vererbungsforschungen haben ergeben, daß zahlreiche *Oenothera*- (Nachtkerzen-) Arten die Erscheinung der Heterogamie zeigen, d. h. daß männliche und weibliche Geschlechtszellen einander nicht gleichwertig sind, sondern verschiedene Faktorenkomplexe übertragen. Diese Tatsache kann in einfacher Weise so erklärt werden, daß sowohl die Samenanlagen als auch die Staubgefäße zwei Sorten paarweise einander korrespondierender Gameten produzieren, von denen die eine Sorte im weiblichen, die andere im männlichen Geschlecht inaktiviert wird. Somit kommt die Erscheinung zustande, daß bei der Kreuzung einer solchen heterogamen *Oenothera* mit einer anderen isogamen ein verschiedenes Resultat entsteht, je nachdem ob man den Pollen oder die Eizelle der heterogamen Form zur Bastardierung heranzieht. Renner ist es dann geglückt, zytologisch nachzuweisen, daß wirklich zwei verschiedene Sorten von Pollenkörnern produziert werden, die sowohl der Form als auch den Inhaltskörpern nach deutlich auseinandergehalten werden können. Und weiterhin konnte er zeigen, daß die eine Sorte von Pollenkörnern bei heterogamen Formen tatsächlich funktionsunfähig geworden ist. Wie steht es nun mit den Eizellen? Hierüber geben neue Untersuchungen desselben Autors Aufschluß (Zeitschr. f. Bot. 13, 1921). Die Reduktionsteilung fällt hier mit der Tetradenteilung zusammen, die der Bildung des Embryosacks vorausgeht. Es werden vier in einer Reihe angeordnete Megasporen gebildet, von denen sich die oberste zum Embryosack entwickelt, während die drei anderen degenerieren. Da die erste der beiden aufeinanderfolgenden Teilungen die heterotypische ist, so sind bei den heterogamen Formen die beiden oberen Megasporen von den beiden unteren stets genotypisch verschieden. Welcher der beiden Faktorenkomplexe an den oberen Pol gelangt, das hängt von den Zufallsgesetzen ab, es müssen also beide Möglichkeiten in gleicher Anzahl (50 : 50 %) verwirklicht werden. Unter normalen Verhältnissen müssen sich demnach die beiden Faktorenkomplexe das Gleichgewicht halten, sie erscheinen im Verhältnis 1 : 1. Bei strenger Heterogamie entstehen aber bloß Gameten der einen Sorte. Die anatomischen Befunde Renners haben nun auf dieses abweichende Verhalten Licht geworfen. Es hat sich gezeigt, daß in diesem Fall ein Konkurrenzkampf zwischen der obersten und untersten Megaspore einsetzt, der damit endet, daß die unterste den Sieg davonträgt, d. h. daß sie, der allgemeinen Regel zuwider, den Embryosack bildet, natürlich bloß für den Fall, daß der stärkere Komplex durch die Reduktionsteilung nach dem unteren Pol verlagert wird. Der Erfolg ist der, daß nunmehr bloß eine Sorte von Gameten resultiert. Bei weniger ausgesprochen heterogamen Formen dagegen erscheint der stärkere Komplex bloß mit einem gewissen numerischen Überschuß, weil es dem schwächeren Partner doch in manchen Fällen gelingt, in der Konkurrenz mit dem stärkeren durchzuhalten.

**Rhythmische Fällungserscheinungen in pflanzlichen Zellmembranen.** Wenn sich zwei Salzlösungen, die zusammen eine Fällung ergeben, in einem kolloidalen Medium gegeneinander diffundieren, dann kommt es in bisher noch nicht ganz geklärter Weise zu einer Bildung von konzentrischen Fällungszonen, den sogenannten Liesegang'schen Ringen. Ganz analoge Er-

scheinungen beobachtete nun Möller (Kolloidchem. Beihefte 14, 1921) an den Außenwänden der Aleuronzellen, wenn angeschnittene Weizenkörner in eine Silbernitratlösung gebracht wurden, und zwar ist das Bild folgendermaßen: dem Diffusionszentrum zunächst liegt eine Region mit strukturlosem Niederschlag; erst von einer gewissen Distanz an setzt Zonenbildung ein; die Breite und Distanz der Fällungstreifen nimmt mehr und mehr zu und schließlich verliert sich die Zonenbildung in einen diffusen, körnigen Niederschlag. Daß hier nicht etwa verborgene Wandstrukturen zum Vorschein kommen, geht daraus hervor, daß die Zonen stets senkrecht zur Diffusionsrichtung verlaufen. Tatsächlich stimmt auch der ganze Vorgang mit all seinen Einzelheiten mit dem Liesegang'schen Phänomen überein. Das äußert sich auch in der Wirkung der verschiedenen Außenfaktoren; so werden die Zonen dichter, wenn der Wassergehalt der Zellmembranen fällt, wenn die Konzentration der Silbernitratlösung gesteigert wird oder wenn man die Weizenkörner mit silberfällenden Salzen vorbehandelt usw. Außerdem folgt das Fortschreiten der Silberlösung annähernd dem Fickschen Diffusionsgesetz. An der Identität beider Vorgänge kann also nicht gezweifelt werden. Damit ist aber ein neues Argument für die kolloidale Beschaffenheit der pflanzlichen Zellwand gefunden.

**Wachstumsschwankungen und hydrotropische Krümmungen bei *Phycomyces nitens*.** Nach den bekannten Untersuchungen von Blaauw ist das Wachstum des Sporangiumträgers von *Phycomyces nitens* in hohem Maße von der herrschenden Lichtintensität abhängig. Auf diese sog. Photowachstumsreaktion, die auch bei anderen Objekten (Sprossen und Wurzeln von höheren Pflanzen) nachgewiesen wurde, gründet Blaauw eine besondere Theorie der phototropischen Erscheinungen, die darauf hinausläuft, die bei einseitiger Belichtung auftretenden Krümmungen pflanzlicher Organe auf die zwischen Vorder- und Rückenflechte herrschende Wachstumsdifferenz zurückzuführen. Es liegt sehr nahe, diesen Gedanken auch auf andere tropistische Reaktionen auszudehnen. Das ist neuerdings für den Hydrotropismus von H. Walter durchgeführt (Zeitschr. f. Bot. 13, 1921). Walter fand, daß bei Änderungen der Luftfeuchtigkeit analoge Wachstumsverschiebungen auftreten wie beim Wechsel der Lichtintensität. Gesteigerte Luftfeuchtigkeit führt im allgemeinen zu beschleunigtem, herabgesetzte Luftfeuchtigkeit zu verlangsamtem Wachstum. Wie bei den Blaauw'schen Versuchen mit Dauerbeleuchtung findet aber vielfach nicht eine direkte Einstellung in die neue Gleichgewichtslage statt, sondern es treten mehrfache Oszillationen auf, ein rhythmisches Pendeln zwischen Beschleunigung und Hemmung. Schwächliche und gealterte Sporangienträger unterscheiden sich von den normalen dadurch, daß an Stelle der zu erwartenden Beschleunigung eine Hemmung zu verzeichnen ist. Nun konnten schon frühere Forscher zeigen, daß *Phycomyces* zu negativ hydrotropischen Reaktionen befähigt ist. Auch Walter hat solche Reaktionen erzielt dadurch, daß er seine Kulturen in einem Raum mit konstantem Sättigungsgefälle aufstellte. Dieses Gefälle wurde derart hergestellt, daß die eine Seite der hierzu verwendeten Glaskammer mit feuchtem Filtrierpapier ausgelegt wurde, während auf der anderen ein Behälter mit wasserentziehendem Chlorcalcium aufgestellt war. Ein Teil der Sporangienträger kehrte sich nun deutlich von der wasserdampfreichen Seite ab. Diese Krümmungen



sind nun so zu deuten, „daß bei einseitiger Reizeinwirkung Intensitätsunterschiede auf den entgegengesetzten Seiten vorhanden sind, was ein ungleiches Wachstum zur Folge hat. Da die dem feuchten Schirm zugekehrte Seite rascher wachsen wird, so treten meist negative Krümmungen ein“. Zum Schlusse wird versucht, die beobachteten Förderungs- und Hemmungskurven auf die Wechselbeziehungen zwischen Wachstum und Atmung zurückzuführen. Walter greift hierbei auf die Erfahrungen der Chemie über Gleichgewichtsreaktionen zurück und ist bestrebt, eine rein physikochemische Grundlage für die Erklärung der physiologischen Vorgänge zu schaffen. Das alles gehört aber noch dem Gebiete der Spekulation an, und der Verfasser gibt selbst zu, daß es sich vorläufig um nichts weiter als ein „grobes Schema“ handeln kann. Es muß der Zukunft überlassen bleiben, zu entscheiden, ob hier ein fruchtbarer Gedankenkern zugrunde liegt. *Stark.*

## Mitteilungen aus verschiedenen biologischen Gebieten.

Einiges aus der neuern Pigmentforschung, speziell über das Ergrauen der Haare (Literatur s. Archiv für Dermatologie und Syphilis 1921, Bd. 135, S. 108). Die durch den Pigmentgehalt bedingte Färbung der Haut spielt bei vielen physiologischen und pathologischen Prozessen eine große Rolle. Nicht nur die Dermatologie als Spezialwissenschaft, sondern auch andere Zweige der Medizin und Naturwissenschaften haben dem Pigmentproblem stets ein lebhaftes Interesse entgegengebracht. Die wissenschaftliche Forschung der letzten Jahre hat uns in der Frage der Pigmentbildung manche Fortschritte gebracht, sowohl was den Ort der Pigmentbildung als auch den Mechanismus derselben anbelangt.

Ausgehend von der Entdeckung anderer Autoren, daß bei gewissen Pflanzen, dann aber auch bei niedern Tieren, Fermente existieren, welche aus farblosen organischen Vorstufen dunkel gefärbte unlösliche Körper, also Pigment zu bilden vermögen, suchte Bloch nach einem chemischen Stoff, der ihm gestattete, die Existenz eines solchen Fermentes auch in den Zellen höherer Tiere nachzuweisen. Einen solchen Stoff stellt die Verbindung von Brenzkatechin mit Alanin dar, das Dioxyphenylalanin, der Kürze wegen Dopa benannt. Der Stoff kommt vor in den Schalen der Saubohne (*Vicia faba*), kann aber auch künstlich hergestellt werden. Von dieser Substanz stellt man zur Ausführung eines Versuches eine Lösung her, macht von einer Haut, welche Pigment enthält, Gefrierschnitte und legt diese in die farblose Flüssigkeit. Diese Dopalösung wird in den Zellen, welche Pigment zu bilden vermögen, in einen schwarzen Farbstoff, das Dopamelanin umgewandelt. Der Vorgang ist ein enzymatischer und wird bewerkstelligt durch ein intrazelluläres Oxydationsferment, die sog. Dopaoxydase. Diese Dopaoxydase ist absolut spezifisch, d. h. sie vermag, soviel wir wissen, nur einen einzigen Stoff, das Dioxyphenylalanin, zu oxydieren. Dieser Oxydationsprozeß findet lediglich nur im Protoplasma der Zellen statt, sehr häufig, ganz besonders wenn es sich um starke Reaktionen handelt, nehmen dabei die Zellen eine eigentümliche Form an, sie sind nämlich mit zierlichen dendritischen Ausläufern versehen. Solche mit Dopa spezifisch reagierende Zellen sind stets ektodermaler Abkunft. Sie finden sich vor allem in der Basalschicht der Epidermis und in den Haar-

wurzeln, nie reagieren die höhern Epidermisschichten, auch wenn sie Pigment enthalten, ebensowenig die pigmenthaltigen Haarschäfte.

Bloch konnte nun weiter zeigen, daß durch dieses mit der Dopareaktion nachgewiesene Oxydationsferment das natürliche Pigment gebildet, d. h. die Dunkelfärbung von Haut und Haaren bedingt wird. Daher ist die Reaktion in albinotischen Haaren nie vorhanden und ebensowenig bei Hautkrankheiten, welche zu einem vollständigen Pigmentverlust der Haut führen, dagegen ist die Reaktion sehr stark, wenn Strahlen irgendwelcher Art, vor allem Licht-, Röntgen-, Radiumstrahlen, auf die Haut eingewirkt haben. Diese Verstärkung des Pigmentes ist eben die Ursache, warum sich die Haut unter solchen Einwirkungen, z. B. durch Belichtung im Hochgebirge, durch Röntgenbestrahlung usw. so stark bräunt. Eine starke Reaktion haben wir auch in den Zellen der braunen Muttermaler. Die Auffindung des pigmentbildenden Fermentes durch die Dopareaktion hat zur Klärung zahlreicher Fragen in der Pigmentlehre geführt, unter anderm verbreitet sie auch Licht über das erste Auftreten von Pigment in den menschlichen Haaren, sowie über den definitiven Verlust desselben beim Altersergrauen.

Um das zeitliche und örtliche Auftreten der Pigmentbildungsfunktion beim menschlichen Embryo festzustellen, wurden bei einer Reihe von Embryonen verschiedenen Alters Hautstückchen verschiedener Körperregionen auf die Dopareaktion hin untersucht. In den Kopfharen und in den feinen Flaumhärchen tritt fertiges Pigment schon im 5. Monat auf, d. h. einen Monat nach der ersten Haaranlage. In der Haut ist dies viel später der Fall. Der früheste Termin, wo Pigment hier festgestellt werden konnte, ist der 7. Monat, in der Regel tritt es hier aber erst nach der Geburt auf, unter dem Einfluß des Lichtes, das ja, wie schon oben erwähnt, bei der Pigmentbildung eine große Rolle spielt. Die spezifische Dopareaktion jedoch ist sowohl in den Haaren als auch in der Haut schon positiv, bevor fertiges Pigment nachzuweisen ist, und zwar ist sie in den Haaren, entsprechend dem frühern Pigmentgehalt auch früher positiv als in der Haut. Aus dieser positiven Reaktion ergibt sich, daß das Ferment, die Dopaoxydase, schon vorhanden ist, ehe ihr das Material, aus welchem sie das Pigment bildet, in genügender Menge zur Verfügung steht.

Umgekehrt verhält sich die Sache beim Altersergrauen. Das Pigment fehlt im Alter in den Haaren fast oder ganz. Der Pigmentmangel kann auf zwei Arten entstehen. Nach der Theorie von Metschnikoff gibt das vorher pigmentierte Haar unter besonderen physiologischen oder pathologischen Bedingungen sein Pigment wieder ab. Die andere Möglichkeit ist die, daß das Pigmentbildungsvermögen unter gewissen Umständen aufhört. Durch die Dopareaktion Blochs ist es gelungen, nachzuweisen, daß das Letztere der Fall ist, daß also im Alter die Fähigkeit Pigment zu bilden verloren geht. Da ein regelmäßiger Haarausfall normal ist, sofern er einen gewissen Grad nicht übersteigt, werden im Alter in den meisten Fällen die ausgefallenen pigmentierten Haare durch farblose unpigmentierte ersetzt und nur in ganz seltenen Fällen kommt es vor, daß der obere Teil des Haares noch pigmentiert ist, während der untere bereits weiß nachwächst.

Um die Ursache des Ergrauens, resp. des Weißwerdens der Haare zu erforschen, wurden Stückchen der Kopfhaut von Personen verschiedener Altersstufen und verschiedener Haarfarbe zur Reaktion verwendet.



Bei jugendlichen Individuen bis zu 30 Jahren mit rein braunen Haaren war die Dopareaktion sehr stark positiv. Der Sitz der Reaktion sind die produktiv wachsenden Zellen der Haarwurzel. Der Haarschaft, ob schon hier auch Pigment vorhanden ist, zeigt keine Reaktion. Bei andern Personen mit ergrautem Haar war die Intensität der Haarfarbe ganz verschieden. Es waren hier Haare vorhanden, welche reichlich Pigment enthielten, neben solchen von mäßigem Pigmentgehalt, bis zu völliger Pigmentlosigkeit. Die Stärke der Dopareaktion entsprach bei diesen Haaren vollständig ihrem Pigmentgehalt. Diejenigen Haare, welche viel Pigment enthielten, hatten nach der Dopareaktion eine ganz schwarze Haarwurzel, während diejenige der pigmentlosen vollständig weiß blieb. In andern Fällen mit vollkommen weißen Haaren fand keine Reaktion statt, die Haarwurzeln blieben völlig weiß.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß uns die Dopareaktion auch die Möglichkeit in die Hand gibt, nachzuweisen, wo das Pigment in den Haaren gebildet wird, also in den Haarwurzeln und nicht in den Haarschäften, da dieselben, trotzdem sie reichlich Pigment enthalten, mit Dopa nicht reagieren, sondern im Gegensatz zu den nach der Reaktion ganz schwarzen Haarwurzeln, ihre Farbe unverändert beibehalten.

Wenn auch durch die Dopareaktion die ganze Pigmentfrage noch nicht gelöst ist, so bedeutet sie doch sicher einen gewaltigen Fortschritt der wissenschaftlichen Erforschung dieses interessanten Problems.

E. Stäheli.

**Über Abhängigkeit der Kernteilungen von äußeren Faktoren.** Noch bis vor gar nicht langer Zeit war das Interesse der Karyologen in erster Linie an den morphologischen Ablauf der Mitosephänomene geknüpft, und man machte sich im allgemeinen wenig klar, daß diese durch die Außenbedingungen verschoben werden könnten. Zwar wußte man, daß z. B. durch Verbrüfung der Organe in ganz extreme Verhältnisse allerlei Unregelmäßigkeiten resultierten. Aber gerade die Veränderung der Mitose in den Grenzen des, was wir noch „normalen“ Ablauf nennen, wurde zu wenig berücksichtigt.

Nun hatte die Praxis schon den älteren Karyologen gezeigt, daß man, um viele Kernteilungen in einem Präparat zu finden, ganz bestimmte Außenkonstellationen abwarten muß. Zum Teil wurde es uns „Strasburger Schülern“ fast gefühlsmäßig eingeimpft, „wann wir unsere Objekte mit Aussicht auf Erfolg zu „fixieren“ hatten. Und selbst die Vorliebe für bestimmte Tagesstunden (z. B. an feuchten und warmen Tagen vormittags zwischen 8 und 10 Uhr im Sommer) war ein Rezept, das gläubig befolgt, doch recht wenig auf seine reale Grundlage geprüft wurde. Etwas besser fundiert waren dann schon die Fälle, in denen manche Organismen, wie viele Chlorophyceen und Conjugaten (Spirogyra) den Tag über nie Mitosen zeigten, dagegen sich diese in wünschenswerter Menge während der Nacht auffinden ließen. Was lag näher, als hier den Einfluß des Lichts dafür verantwortlich zu machen?

Wir finden denn auch getreulich von den einzelnen Cytologen angegeben, wann sie ihre Objekte fixiert haben, und lesen z. B., daß *Zygnema* nachts zwischen 9 und 12 Uhr sich am meisten teilt, andere wieder in den Morgenstunden zwischen 2 und 4 Uhr. Aber die Differenzen waren doch oft so groß, daß man keine Eindeutigkeit erhielt. Warum teilte sich z. B. die *Peridinee Ceratium tripos* während des Sommers in der Nacht, während des Herbstes am Nachmittag? Warum

weiterhin *Ceratium hirundinella* meist des Nachts, im Monat April aber auch am Tage?

Ein einzelner Faktor, wie das Licht, konnte da sicherlich nicht entscheidend sein, wenngleich er natürlich sehr mitwirkte. Daß das Licht von großer Wichtigkeit war, ging dann vor allem aus den planmäßigen Experimenten von *Karsten* hervor, der durch künstliche Beleuchtung der Algen, vor allem von *Spirogyra*, die Rhythmik weitgehend umkehren konnte: die sonst zwischen 10 und 12 Uhr nachts sich abspielende Teilung wurde so auf die Tagesstunden verlegt. Aber 4—5 Tage dauerte es, bis sich die Individuen „umgestimmt“ hatten. Und optimal wirkten die neuen Außenbedingungen sicher nicht, denn nach einiger Zeit erfolgte eine Massenteilung sowohl bei Tage wie bei Nacht!

Weniger klar lag die Beeinflussung seitens des Lichts für die Blütenpflanzen zutage. Dafür, daß auch hier nicht wahllos die Mitosen vor sich gehen, haben wir von unseren morphologischen Studien her manche Indizien. Denn in gewissen Geweben, in denen wir viele Mitosen hätten erwarten müssen, war es trotz Häufung der Mikrotomschnitte oft nicht möglich, auch nur eine einzige zu finden. So ging es *Karsten* bei den Samenanlagen von *Gnetum*, mir beim Endosperm von *Ficus*. Und *Karsten* hat denn auch für einige öfter zum Experiment verwendete Pflanzen wie Erbsen und Mais gezeigt, daß wenigstens bei Lichtabschluß während der Nacht die Zahl der Kernteilungen gegen die am Tage zunahm. Organe wie die Wurzeln jedoch, die normal dauernd dem Licht entzogen waren, ließen nach *Karsten* wie nach *Friesner* und *Stälfelt* gar keine Periodizität in den Teilungen erkennen.

Insbesondere führte nun der letztgenannte Autor an großem Material aus, daß das Licht, wo überhaupt eine hemmende Wirkung zu verspüren war, auch die einzelnen Phasen der Mitose verschieden beeinflusste. Aus der Zahl der aufgefundenen Stadien ließ sich folgern, welche länger dauerten, also öfter in den Präparaten zu finden waren als normal, und welche eine Abkürzung erfuhren, also seltener als in der Norm sich einfanden. So zeigte er für *Pisum*sprosse, daß die Meta- und die Telophasen in erster Linie verlangsamt, die Prophasen leicht beschleunigt sein mußten.

Neben dem Licht studierte *Stälfelt* auch die Temperatur, von der von vornherein schon innerhalb gewisser Grenzen eine Beschleunigung der Mitosen zu erwarten war. Das wußten wir auch bereits aus früheren Studien von *de Wildeman*, *Maltau* und *Massart* u. a. Bei einem bestimmten Temperaturgrad war die Dauer der Mitose besonders kurz, ein Weniger oder Mehr von Wärme ließ sie sich verlangsamen. Für seinen speziellen Fall (*Pisum*) zeigte *Stälfelt* nun wieder, daß z. B. bei 18° die Mitosen in einem Minimum von Zeit vor sich gingen; bei 5° waren sie ähnlich verlangsamt wie bei 30°, aber bei 5° waren davon mehr die Prophasen, bei 30° mehr die Meta- und Telophasen betroffen. Das wird sicher sehr interessante Themata für kausal betriebene Cytologie abgeben.

Im allgemeinen wirkte auch die Zufuhr von Gasen in einer Menge, an die die Pflanzen normal nicht angepaßt waren, verlangsamen, selbst wenn es sich um Versetzen unter stärkere Sauerstoffspannung handelte, die die Prophasen entschieden schneller ablaufen ließ. Nur durch ein einziges Mittel glückte es *Stälfelt*, die Mitosen als Ganzes zu beschleunigen, und das war die Durchleitung leichter galvanischer Ströme! Dadurch dürften nämlich stärkere „Permeabilitäts- und Oberflächenverschiebungen bei den einzelnen Grenzschichten



in der Zelle“ und in ihrer Folge leichte „Potentialunterschiede zwischen den einzelnen Teilen derselben“ ausgelöst werden. Und wir würden uns dabei an die Bestrebungen zu erinnern haben, die Hauptvorgänge während der Mitose mit einer „Elektrokinese“ in Zusammenhang zu bringen. So werden wir uns genötigt sehen, das „Problem der Mitose“ mit dem Auftreten von Permeabilitätsveränderungen der cyto- oder karyoplasmatischen Wandung in Verbindung zu setzen. Diejenigen Faktoren, welche diese beeinflussen, werden damit auch Einfluß auf den Ablauf der Mitose gewinnen.

Die Versuche im wesentlichen amerikanischer Autoren, die Mitose kolloidchemisch zu verstehen, sind dabei nicht so neu, wie man das nach der Lektüre ihrer Arbeiten glauben sollte. Schon morphologische Betrachtung hatte, um nur ein wesentliches Moment zu nennen, eine reversible Gelbildung zu Beginn der Prophase gelehrt, dafür das Auftreten von „Spindelsubstanz“ herangezogen und ebenso ihr „Solwerden“ bei Auflösung der „Phragmoplasten“ beschrieben. Ich erinnere mich, daß das bei der Teilung mancher Pollenmutterzellen so stark werden konnte, daß die Chromosomen durch die dicke bei der Fixierung „irreversibel“ gemachte und dadurch noch mehr „verfestigte“ Gelschicht kaum eine ordentliche Tinktion mit den üblichen Farbstoffen annehmen wollten und ich durch schwache Einwirkung von Alkalien erst den Gelcharakter der Spindelsubstanz etwas verändern mußte. Auch das Auftreten zahlreicher Unregelmäßigkeiten bei manchen Teilungen, namentlich die Verschleppung der Chromosomen an „unrichtige Stellen“, kann in kolloidchemischer Fassung erklärt werden, wenn man berücksichtigt, daß solches gern eintritt, wo die Gelbildung bei der Mitose gestört ist und das Cytoplasma „zu flüssig“ bleibt.

Von hier aus erscheint es uns aussichtsreich, ein wirkliches Verständnis der Mitose in die Wege zu leiten. Denn wir sehen, es gibt Außen- resp. durch sie ausgelöste Innenfaktoren, welche den Charakter des Plasmasols beeinflussen. Stätfelt zeigte z. B. schon, daß die Durchlässigkeit des Plasmaderma für Wasser „regelmäßigen Schwingungen“ unterworfen war, die „anscheinend tagesperiodisch“ auftraten. Leider verliefen die Rhythmen der verschiedenen Wurzeln nicht synchron. Und das warnt uns auch davor, die Einwirkung zu einseitig ohne Berücksichtigung der reizempfindlichen Struktur des Plasma aufzufassen und die Inneneinflüsse auszuschalten, die doch zweifellos eine hervorragende Rolle spielen werden. Erinnern wir uns ferner daran, wie resignierend im Grunde die Resultate sind, welche Fitting bezüglich der Gesetzmäßigkeiten in der Verschiebung der Plasmadurchlässigkeit erreicht hat.

Daß auch kein genauer Parallelismus zwischen Kernteilungshäufigkeit und Wachstum des ganzen Organismus festzustellen ist, wird schon mehr einleuchten, wenn wir bedenken, wie verschieden stark allein die Streckung der Zelle sein kann, die ja bei dem Wachstum nicht vernachlässigt werden darf. Darum wird man aber doch hoffen dürfen, schließlich selbst die rhythmischen Erscheinungen im Wachstum mit den kolloidchemischen Vorgängen im Innern der Zelle in Zusammenhang zu bringen. Erinnern wir uns nur daran, wie wichtig nach Frk. Stoppels Forschungen die verschiedene Leitfähigkeit der Luft für Elektrizität bei der Aufklärung der Rhythmik ist, und denken wir an den Einfluß des galvanischen Stroms auf den Ablauf der Mitose, den uns Stätfelt lehrte. Wir ahnen in Umrissen, daß sich hier Wege abzuzeichnen beginnen, auf

denen wir einmal auch das Dunkel lichten können, das gerade den Vorgang der Mitose umgibt, wenn wir ihn kausal betrachten. Ausführliche Literaturangabe finden sich in meiner „Karyologie“. Ich bitte auch die nachträglichen Zusätze am Schluß des Bandes zu berücksichtigen.

G. Tischler.

**Neue Lehrbücher der Entwicklungsgeschichte.** Der biologische Unterricht leidet unter der Schwierigkeit, daß in kurzer Zeit eine große Menge einfacher Tatsächlichkeiten aufgefaßt und behalten werden soll. Zur Bewältigung dieser Aufgabe bringt der Student in der Regel nicht einmal ein einigermaßen geübtes Sach- und Gestaltgedächtnis mit, da er von der Schule her nur auf Wortvorstellungen dressiert zu sein pflegt. So wird es schwierig, im Unterricht zu dem eigentlich Wissenschaftlichen, der Problematik, vorzudringen. Der Unterricht ist in Gefahr, reiner Elementarunterricht zu werden, wie er im Gebiete der Philologie etwa der Mittelstufe eines Gymnasiums entspricht.

Auf dem Gebiet der Entwicklungsgeschichte der Wirbeltiere und des Menschen ist dieser Umstand besonders fühlbar. Bücher, die die Bleigewichte des rein Tatsächlichen dem Hörer erleichtern, sind deshalb besonders zu begrüßen. Das Buch von Broman (Grundriß der Entwicklungsgeschichte des Menschen, I. F. Bergmann 1921) bringt eine knappe, aber ausreichende Darstellung der menschlichen Entwicklungsgeschichte. Das ist um so wertvoller, als ältere Lehrbücher der Entwicklungsgeschichte allzusehr bei Hai, Fisch, Frosch und Huhn verweilen, und so auch der Unterricht hin und wieder bei diesen Tieren stecken blieb, selbst zu einer Zeit, als von der früheren und späteren Entwicklung des Menschen bereits ausführliche Kunde vorhanden war.

Cornings Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte des Menschen (I. F. Bergmann 1921) ist bedeutend umfangreicher und ausführlicher als das vorige und baut die Darstellung mehr auf vergleichender Grundlage auf. Für sehr viele Dinge ist das fast notwendig. Der Begriff der Keimblätter läßt sich z. B. an der menschlichen Embryologie nur schwer entwickeln. Besonders bemerkenswert ist die Hinführung der Entwicklung überall bis zum wirklich erwachsenen Zustand. Das macht das Buch für den künftigen Mediziner um so wertvoller, als auch den Entwicklungsstörungen ein breiter Raum gewidmet ist. Beide Bücher werden so dem Bedürfnis nach einem sicheren Führer auf dem Gebiet der Entwicklungsgeschichte gerecht.

Vielleicht ist es aber nicht unangebracht, ein paar Worte über das Verhältnis beider Bücher zur *Entwicklungsmechanik* zu sagen. Wir haben uns wieder gewöhnt, nicht nur Anatomie von Embryonen zu treiben und daraus einen normalen Entwicklungsgang zu erschließen, sondern das Tatsachenmaterial ist heute soweit bewältigt, daß wir wieder den lebendigen Vorgang als solchen betrachten, und alle Probleme, die daraus erwachsen, zu bearbeiten versuchen. In der Botanik ist dieser Gesichtspunkt nie eigentlich verschwunden. Das ist leicht verständlich, denn einmal sind die Grundtatsachen der pflanzlichen Formbildung jedem Gärtner geläufig, andererseits ist formbildendes Wachstum eben die augenfälligste Lebensäußerung der „Gewächse“. Den Anforderungen der Umgebung wird die Pflanze durch formbildende Leistungen gerecht, auch da, wo das Tier mit Bewegungen zu antworten pflegt. Man vergleiche z. B. die beiden Gruppen der Klettertiere und der Kletterpflanzen, die in den Kronen der Urwaldbäume ihr Dasein führen. Für die

tierische Formbildung mußte dieser Gesichtspunkt — die Formbildung als lebendige Leistung der lebenden Substanz, analog ihren anderen Leistungen — erst wieder kämpfend sich durchsetzen. Diesen Gesichtspunkt wird man nun in beiden Büchern vergebens suchen. Für das Buch von *Broman* ist das eigentlich etwas verwunderlich, denn es findet sich darin bei dem Abschnitt „Progenie“ eine Darstellung der Vererbungslehre, die zwar kurz gehalten ist, aber auf diesem Raum nicht besser geschrieben werden konnte. Wenn der Autor aber den Satz schreiben konnte: „Der *Phänotypus* eines Individuums ist also eine Art *Laborationsprodukt von Erbfaktoren und Milieuverhältnissen*“, so hätte er nun auch die Konsequenzen ziehen können und dem Leser ebenso kurz und treffend, wie mit den Vererbungserscheinungen, damit bekannt machen können, wie und mit welchen Mitteln diese „Laboration“ — das soll doch heißen: Arbeit, Leistung — nun eigentlich vor sich geht. Diese Frage ist aber nichts anderes, wie die der Entwicklungsphysiologie, der Entwicklungsmechanik.

*Corning* geht in einem Anhang auf Dinge ein, die zur Entwicklungsmechanik gehören. Jedoch das Problem wird nicht erläutert, und mit der Darstellung wird der Entwicklungsmechaniker sich kaum einverstanden erklären können. Auch die Literatur, auf die verwiesen wird, ist für dieses Gebiet ein wenig sonderbar zusammengestellt. Wenn überhaupt in einem Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte der Wirbeltiere derartige Dinge gebracht werden, so dürfte auf keinen Fall an der Arbeit *Spemanns* über die Determination der ersten Organanlagen vorbeigegangen werden. Sie ist 1918<sup>1)</sup> erschienen und ist das Wichtigste, das wir über die Entwicklung des Wirbeltierkeimes in den letzten Jahren erfahren haben. Die Abbildung 645 und die ihr zugrunde liegenden Erörterungen sind z. B. danach ganz einfach nicht richtig.

Vielleicht sind diese Bemerkungen aber mehr sachlich, als psychologisch berechtigt. Entwicklungsphysiologie und die sachliche Möglichkeit, ein vollständiges Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte zu schreiben, sind vielleicht in Personalunion zurzeit nirgends vorhanden. Hoffen wir, daß noch einmal eine Darstellung der Entwicklungsgeschichte geschrieben wird, bei der die Probleme der Formbildung nicht angehängt oder aufgepfropft sind, sondern den ganzen Stoff mit grundlegenden Gedanken durchtränken helfen. Bis dahin, und auch dann noch, bleiben beide Bücher eine wertvolle Bereicherung unseres Bestandes an Lehrbüchern, aus denen sich der Leser eingehende und vollständige Belehrung holen kann. *Petersen.*

## Astronomische Mitteilungen.

Der Abstand des kugelförmigen Sternhaufens M 5. Im Bulletin 763 der Harvard-Sternwarte gibt der neue Leiter derselben, *H. Shapley* — bekannt durch seine zahlreichen bahnbrechenden Arbeiten über

<sup>1)</sup> Archiv f. Entw.-Mech. 43. So hätte sie noch berücksichtigt werden können, was bei den folgenden Publikationen 1919 (diese Zeitschrift) und 1921 (Archiv f. Entw.-Mech. 48) wohl kaum der Fall war.

die Sternhaufen und den Bau des Weltalls<sup>1)</sup> — eine kurze Übersicht über die Distanz von M 5, ermittelt auf Grund der verschiedenen von ihm ausgebauten Methoden. Seine in Sterngrößen ausgedrückten Werte habe ich nachstehend in Lichtjahre umgerechnet. Es ergab sich:

|                                      |                    | Gewicht |
|--------------------------------------|--------------------|---------|
| aus den veränderlichen Sternen nach  |                    |         |
| Mount-Wilson-Beobachtungen ...       | 37 600             | 3       |
| aus den veränderlichen Sternen nach  |                    |         |
| Harvard Beobachtungen .....          | 40 800             | 3       |
| aus der Gesamthelligkeit des Haufens | 43 400             | 1       |
| aus den 25 hellsten Sternen .....    | 39 900             | 2       |
| aus dem scheinbaren Durchmesser..    | 40 600             | 2       |
| Im Mittel nach Gewichten             | 39 900 Lichtjahre. |         |

Die Kugelhaufen sind vorab die fernsten kosmischen Objekte, deren Abstand von uns mit Sicherheit bekannt ist, und zwar beträgt der wahrscheinliche Fehler des Mittels obiger Zahlen  $\pm 600$  Lichtjahre oder  $\pm 1\frac{1}{2}\%$  der Distanz. Während vor 1—2 Jahrzehnten die Größe der Milchstraße zu 2—3000 Lichtjahren veranschlagt wurde, hat heute für uns das Kosmos gesichert, also mindestens die 100fache Ausdehnung, denn M 5 gehört noch zu den allernächsten Kugelhaufen, deren weiteste über 200 000 Lichtjahre fern sind.

Dem gleichen Harvard-Bulletin entnehme ich noch eine interessante Notiz *H. Shapleys* über die **Lichtgeschwindigkeit**. M 5 enthält wie alle Kugelhaufen zahlreiche kurzperiodische Veränderliche. Deren Lichtkurven wurden an Hand von Aufnahmen mit gewöhnlichen und mit gelbempfindlichen Platten untersucht (Maximum der Empfindlichkeit bei  $0,45\mu$  bzw.  $0,55\mu$ ). Für 21 Sterne ergab sich als Differenz zwischen den Epochen maximalen Lichtes auf beiden Plattenarten „Gelb-Violett“ =  $+ 0,0004 \pm 0,0008$  Tage, also innerhalb  $\pm 1$  Minute sind die Epochen für beide Lichtarten völlig gleich. *Shapley* schließt daraus, daß der Unterschied in der Geschwindigkeit gelben und violetten Lichtes äußerst gering, unter 1 : 1 Billion, ist, da auf der 40 000 Jahre dauernden Reise beide Wellenarten sich noch nicht in nachweisbarem Maße voneinander getrennt haben. Wenn auch die heutige Physik einen derartigen Unterschied in keiner Weise fordert, so ist doch eine derartige Feststellung von höchster physikalischer und astronomischer Bedeutung.

*J. Hopmann.*

### Berichtigung.

In dem Referat Einiges über Sehrohre von *H. Dille* in Heft 14 dieses Jahrganges ist S. 331, rechte Spalte eine Zeile ausgefallen. Die Stelle (Zeile 22 bis 24 von unten) soll heißen: „Die bildumkehrende Li-  
folge soll nicht mehr wie vorhin die Vergrößerung haben, sondern, aus den Brennweiten  $f_0$  und

sammengesetzt, die Vergrößerung  $-\frac{f_2}{f_0}$  ergeben; es ist also immer noch ein achsenparalleler Verlauf der Mittenstrahlen zwischen den Bestandteilen der Umkehr-linsenfolge angenommen, da ja im allgemeinen Falle, auf den wir am Schluß dieses Berichtes eingehen, die Vergrößerung nicht aus  $-f_2/f_0$  zu ermitteln wäre.“

<sup>1)</sup> Vergl. Naturwissensch. 1920, S. 740, 1921, S. 769.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 18. (Seite 441—456)

5. Mai 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Zur Frage nach dem Vorkommen von Befruchtungsvorgängen bei Bakterien. Von *Heinz Potthoff, Münster i. W.* (Mit 12 Abbildungen.) S. 441.  
Der mathematische Kern der Außenwelthypothese. (Schluß.) Von *Karl Gerhards, Aachen.* (Mit 3 Abbildungen.) S. 446.

### Besprechungen:

Chwolson, O. D., Lehrbuch der Physik. I. Band, II. Band 1. Abteilung. Zweite Auflage. Von *H. Kallmann, Berlin-Westend.* S. 453.

### Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Die räumliche Ausdehnung des Milchstraßensystems. Von *A. Kopff, Heidelberg.* S. 454.

Physiologische Mitteilungen. (Aus den Berichten über die gesamte Physiologie.) S. 454—456.

Über den Sitz des Geruchsinnes bei Insekten. Anophelesplage und Kaninchenzucht. Gewöhnung an Arzneimittel und Gifte. Die Grenzen der Mendelschen Vererbung. Beweise für das Vorhandensein gesunder Träger des Encephalitisvirus. Untersuchungen über die spontane Spirochätose des Kaninchens. Über die durch das doppeläugige Sehen bewirkte Vergrößerung und ihre Rolle bei der Tiefenwahrnehmung.



# GOERZ

## Polarisations- Apparate

für  
wissenschaftliche  
Zwecke

★  
*Äusserste Stabilität  
Vorzügliche Optik*  
★

Katalog kostenfrei

Optische Anstalt **C. P. GOERZ** Aktiengesellschaft  
BERLIN-FRIEDENAU

## Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 60.— für das zweite Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 6.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postscheck für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 202 20 Julius Springer.  
Konten: Springer.

## Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

**J. D. Möller, Wedel in Holstein.**

Gegründet 1864.

(250)

In unserem Verlage ist soeben erschienen:

## Ueber die Darstellung des periodischen Systems der chemischen Elemente mittels harmonischer Schwingungen.

Von Professor **Karl Fehrle**, Freiburg i. Br.

Mit 5 graphischen Darstellungen und der vollständigen Tabelle der Fourieranalyse der Restkurve.

48 Seiten. 80. 1922. Preis M. 15.—. (284)

Verlag der Freiburger Druck- und Verlagsgesellschaft  
H. M. Muth, m. b. H., Freiburg i. Br.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Soeben erschien:

# Kurzes Lehrbuch der Physiologischen Chemie

Von

**Dr. Paul Hári**

o. ö. Professor der physiologischen und pathologischen Chemie an der Universität Budapest

Zweite, verbesserte Auflage

Mit 6 Textabbildungen. (X, 354 S.)

1922. Gebunden Preis M. 99.—

### Inhaltsübersicht:

I. Physikalisch-chemische Vorbemerkungen. — II. Die chemischen Bestandteile des tierischen Körpers. — III. Kohlenhydrate. — IV. Fette und fettartige Körper (Lipoide). — V. Eiweißkörper (Proteine). — VI. Blut, Lymphe und das Sekret der serösen Häute. — VII. Chemische und physikalisch-chemische Vorgänge im Verdauungstrakt. — VIII. Der Harn. — IX. Milch und Colostrum. — X. Chemie verschiedener Organe, Gewebe und Sekrete. — XI. Innere Sekretion. — XII. Stoffwechsel und Energieumsatz.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung



## Zur Frage nach dem Vorkommen von Befruchtungsvorgängen bei Bakterien.

Von Heinz Potthoff, Münster i. W.

Nach den Angaben in unseren Hand- und Lehrbüchern fehlen bei zwei Klassen des Pflanzenreiches, den blaugrünen Algen und den Bakterien, die man wegen der Art der vegetativen Vermehrung durch Spaltung der Zellen als Schizophyten oder Spaltpflanzen zusammengefaßt hat, geschlechtliche Vorgänge.

Was die blaugrünen Algen angeht, so sind bei ihnen tatsächlich noch keine sexuellen Vorgänge beobachtet worden. Anders bei den Spaltpilzen oder Bakterien. Es finden sich in der Literatur eine Reihe von Angaben über Erscheinungen, die sich vielleicht als Sexualreaktionen deuten lassen. *Autogamie* oder besser noch *Pädogamie*, eine Art Selbstbefruchtung durch Verschmelzung eben erst aus ein und derselben Mutterzelle entstandener Zellen, glaubt *Schaudinn*<sup>1)</sup> bei seinem *Bazillus Bütschlii* und *Bazillus sporonema* beobachtet zu haben. Er stellte bei diesen beiden Arten fest, daß kurz vor der Sporenbildung in der Mitte der Zelle eine Querwand entstand, die kurz darauf resorbiert wurde. Bei *Bazillus sporonema* bildete sich außerdem eine Einschnürung in der Mitte der Zelle. In der Verschmelzung der Zellen nach der Auflösung der Querwand erblickt *Schaudinn* den sexuellen Vorgang. Man kann im Zweifel sein, ob es sich hier tatsächlich um Sexualreaktionen handelt. Manche Autoren geben diesen Erscheinungen eine andere Deutung, so *Dobell*<sup>2)</sup>, der ähnliches bei *Bacillus spirogyra* und *lunula*, Bakterien, die er im Darm von Kröten und Fröschen entdeckte, beobachtete. Erscheinungen, bei denen vielleicht auch die Verschmelzung von 2 Tochterzellen vorliegt, bemerkte *Henneberg*<sup>3)</sup> zufällig bei *Bacterium oxydans*, ging aber nicht wie *Schaudinn* auf die Zytologie der Zelle ein. Er sah häufiger bei diesem Essigbakterium einige Zellen eines Fadens kurze Seitenzweige treiben, die dann an der Spitze anschwellen. Entstanden solche Gebilde an zwei Nachbarzellen, so schmiegt sich die Seitenzweige aneinander. *Henneberg* glaubt, daß unter Umständen die trennende Zellwand verschwinden kann. Ob er wirklich die Resorption der Wand beobachtete, geht aus seinen Ausführungen nicht hervor. Es erscheint zwei-

felhaft, ob *Hennebergs* Beobachtungen in diesem Zusammenhang überhaupt zu erwähnen sind.

Bei den vorhin genannten Erscheinungen der *Pädogamie*, die im Innern der Batterienzelle stattfinden, können nur zytologische Untersuchungen, wie *Schaudinn* sie anstellte, zu der Vermutung, daß Sexualreaktionen vorliegen, Anlaß geben. Andere Forscher haben nun Vorgänge beobachtet, die ohne weitere Untersuchung des Zellinnern das Bild einer geschlechtlichen Erscheinung darbieten, weil sie zweifelsfreien, sexuellen Vorgängen anderer Organismen ähnlich sehen.

Eine der bedeutsamsten Entdeckungen dieser Art, die merkwürdigerweise fast vergessen worden ist, machte *Foerster*<sup>4)</sup> bei *Chromatium Okenii*, einem großen, schon von *Ehrenberg* beobachteten roten Schwefelbakterium. Unser Autor fand im Faulwasser kurz nach dem ersten, makroskopisch an einem feinen roten Anflug auf dem Schlamm erkennbaren, Auftreten von Chromatien eine Anzahl dieser interessanten Bakterien durch zylindrische Brücken starr miteinander verbunden. Es handelte sich um keine dauernde Vereinigung. Nach Verlauf von wenigen Minuten bis zu einigen Stunden erfolgte die Trennung, bei der nach *Foersters* Meinung die Brücke sich teilte. Was dann mit den Brückenhälften geschah, ob sie abgeschnürt oder resorbiert wurden, konnte *Foerster* nicht feststellen. Auch gelang es ihm nicht, das Entstehen einer Verbindung zu beobachten. *Foerster* nahm wohl mit Recht an, daß es sich hier um einen sexuellen Vorgang handelte.

Ähnliche Dinge fand *Fuhrmann*<sup>5)</sup>, dem *Foersters* Arbeit unbekannt geblieben war, bei einer *Pseudomonas*art. (Unter dem Gattungsnamen *Pseudomonas* faßt der Bacteriologe diejenigen stäbchenförmigen Spaltpilze zusammen, die durch polare Begeißelung gekennzeichnet sind.) *Fuhrmann* sah an Stäbchen von *Pseudomonas cerevisiae*, einer Bakterienart, die er aus Flaschenbier isolierte, endständige kolbige Anschwellungen auftreten und fand, daß zuweilen zwei Bakterien von dieser Form mit der Breitseite aneinanderlagen und daß ein feiner Faden die kolbigen Anschwellungen der beiden Zellen verband. Er vergleicht diese Erscheinung mit der Zygosporienbildung höherer Pilze. In späteren Veröffentlichungen<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup> *Schaudinn*, Arch. f. Prot. Kunde 1902, Bd. 1, 306.

<sup>2)</sup> *Dobell*, CC. Ref. B. C. II, 1909, Bd. 25, S. 278; Journ. of micr. sc. n. s. 1909, Bd. 53, S. 509. Vergleiche desselben Autors Arbeit in derselben Zeitschrift 1911.

<sup>3)</sup> *Henneberg*, W., Centralbl. f. Bakt., Abt. II, Bd. 4, S. 14, 1898.

<sup>4)</sup> *Foerster*, F., Centralbl. f. Bakt., Abt. II, Bd. 11, S. 257, 1892.

<sup>5)</sup> *Fuhrmann*, F., Centralbl. f. Bakt., Abt. II, Bd. 16, S. 309, 1906.

<sup>6)</sup> *Fuhrmann*, F., Beihefte zum Bot. Zentralbl. Bd. 23, S. 1, Abt. I. u. II, 1908; Vorl. über techn. Mycologie, Jena 1915.

über *Pseudomonas cerevisiae* läßt Fuhrmann diese Beobachtungen unerwähnt.

Ich selbst konnte dann bei meinen Untersuchungen von *Chromatium Okenii* Foersters Beobachtung bestätigen, ohne zunächst von seinen Forschungen Kenntnis zu haben. Ganz ähnliche Vorkommnisse fand ich bei Rhodospirillen. In einer kürzeren Mitteilung<sup>7)</sup> habe ich darüber berichtet und komme unten darauf zurück.

Nach dem Erscheinen meiner Mitteilung erhielt ich durch die Freundlichkeit des Verfassers ein Buch von Löhnis<sup>8)</sup> „Life Cycles of the Bacteria“, aus dem hervorgeht, daß, wie Löhnis schon im Jahre 1916 feststellen konnte, auch beim *Bacillus Azotobacter*, der wegen seines Stickstoffbindungsvermögens schon von vielen Forschern untersucht worden ist, sexuelle Erscheinungen, ähnlich wie Foerster sie beobachtete, auftreten. In einem weiteren Werk, das 1921<sup>9)</sup> erschien, gibt Löhnis dann eine umfassende Zusammenstellung der Literatur über Beobachtungen solcher Vereinigungen von Zellen und von entwicklungsgeschichtlichen Bakterienstudien überhaupt, illustriert durch eine große Zahl von Mikrophotogrammen.

Was diese Angaben über Verbindungsstadien und sexuelle Vorgänge anbetrifft, so handelt es sich meiner Meinung nach in vielen Fällen nicht um echte Verbindungen im Sinne Foersters, vielmehr um ein zufälliges Nebeneinanderlagern oder Zusammenkleben von Bakterien. Die weitere kritische Beleuchtung der einzelnen Beobachtungen bringe ich in einer späteren ausführlicheren Arbeit und gebe im folgenden eine kurze Zusammenstellung meiner eigenen Forschungsergebnisse, die ich teilweise in der oben erwähnten früheren Veröffentlichung mitteilte und die inzwischen einige Erweiterung erfahren haben.

Zuerst beobachtete ich Verbindungsstadien bei Purpurbakterien. Um Rohkulturen dieser Bakterien zu erhalten, verwandte ich das Verfahren von Winogradsky<sup>10)</sup>. Ein Standzylinder von 1–1½ Liter Inhalt wurde mit zerquetschten Rhizomen von *Typha* oder *Acorus Calamus* beschickt. Darüber wurde mit Gips versetzter Teichschlamm geschichtet und so viel Teichwasser zugesetzt, daß etwa ein Drittel des Gefäßes mit Wasser gefüllt war. Je nach der Jahreszeit zeigte sich nach 8 oder 14 Tagen auf dem Schlamm ein roter Anflug, der, wie sich bei der mikroskopischen Untersuchung herausstellte, größtenteils von *Chromatium Okenii* gebildet

wurde. Bei den zuerst auftretenden Chromatien bemerkte ich mehrfach jene schon von Foerster beobachteten merkwürdigen Erscheinungen. Fast alle Chromatien trugen Knospen und viele waren durch den Knospen ähnlich sehende Gebilde starr miteinander verbunden. Die Knospen und Brücken waren 1–1½  $\mu$  breit und 1½–2  $\mu$  lang. Sie zeigten häufig in der Mitte, gleichlaufend mit der Längsrichtung des Chromatiums eine oder seltener auch 2 je nach Einstellung bald helle, bald dunkle Linien. Bei der Trennung der Verbindungsstadien blieb meist die ganze Brücke bei dem einen *Chromatium*, doch konnte ich in einem Fall auch beobachten, daß die Brücke sich teilte, und zwar blieb der größte Teil der Brücke bei dem einen *Chromatium*, während bei dem anderen nach der Trennung noch ein Zäpfchen von nur 0,5  $\mu$  Höhe zu sehen war (Fig. 1a). Die Tren-

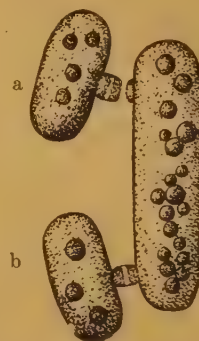


Fig. 1. Verbindungsstadium von *Chromatium Okenii* Vergr. 1500 : 1.

nung erfolgte erst nach Lebendfärbung mit Gentianaviolett, wahrscheinlich infolge der schädigenden Wirkung des Farbstoffs. Dasselbe Stadium hatte ich längere Zeit ungefärbt fest verbunden gesehen. Eine merkwürdige Erscheinung war dabei zu beobachten, die vielleicht Schlüsse auf die Vorgänge in der Brücke ziehen läßt. Die Brücke zeigte gleichlaufend mit der Längsrichtung der Chromatien zwei helle Linien. Auffällig war nun, daß die Färbung der Brückenteile der Färbung der Chromatien entsprach. (Ich meine hier Färbung durch Bacteriopurpurin, nicht etwa durch Anilinfarbstoff.) Das kleinere *Chromatium* war blaßrot gefärbt, während das große einen leuchtend roten Farbton zeigte. Der Farbe der Chromatien entsprechend war die Brücke jenseits der Linie, bei der später die Trennung erfolgte, nach dem größeren *Chromatium* zu rot, in Richtung auf das kleinere blaßrot gefärbt. Man könnte daraus schließen, daß beide Bakterien irgendwelche Substanz sei es Plasma oder Kerne oder aber beides an die Brücke abgeben. Zuweilen beobachtet man eigenartig gespaltene Knospen.

Die Dauer der Verbindungsstadien betrug einige Minuten bis zu einigen Stunden. Bei meinen Untersuchungen waren morgens zwar Knospen, aber keine Verbindungsstadien festzustellen, erst bei steigender Tageswärme, und zwar

<sup>7)</sup> Potthoff, H., Centralbl. f. Bakt., Abt. II, Bd. 55, S. 9, 1921.

<sup>8)</sup> Löhnis, F., Life Cycles of the Bacteria, Journal of Agricultural Research, Vol. VI, Nr. 18, Department of Agriculture, Washington 1916.

<sup>9)</sup> Löhnis, F., Studies upon the Life Cycles of the Bacteria, Part I, Review of the Literature 1838–1918, Washington, Government Printing Office 1921.

<sup>10)</sup> Winogradsky, S., Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Bakterien, Heft I, Leipzig, Arthur Felix, 1888.



am häufigsten an warmen Tagen, traten Verbindungen auf.

Um Genaueres über die Struktur der Knospen und Brücken zu erfahren, wandte ich, wie ich oben schon nebenher erwähnte, Lebendfärbung nach Zettnow, Färbung mit stark verdünnten Farblösungen ohne vorhergehende Fixierung, an. Bei Färbung mit Gentianaviolett färbte sich zunächst die Knospe violett und zeigte häufig in der Mitte eine oder zwei helle, farblose Linien, die den hellen Linien bei lebend ungefärbten Chromatien entsprachen.

Die Knospe färbte sich immer zuerst, dann erst das Chromatium. Chromatien ohne Knospen nahmen den Farbstoff langsamer auf als die knospentragenden und die durch Brücken miteinander verbundenen Bakterien. Diese werden auch bald bewegungslos, während die knospenlosen Bakterien, längere Zeit der Wirkung des Farbstoffs ausgesetzt, noch lebhaft beweglich bleiben.

Fig. 2, ein Mikrophotogramm, zeigt fixierte und mit Eisenhämatoxylin gefärbte Chromatien mit Knospen und ein Verbindungsstadium.



Fig. 2. Chromatien mit Knospen und ein Verbindungsstadium, Färbung mit Eisenhämatoxylin. Vergr. 1000 : 1. Mikrophotogramm.

Vier Tage nach dem zuerst beobachteten Auftreten von Knospen und Brücken war in der Kultur nichts mehr von derartigen Erscheinungen zu sehen. Es wurde in Abständen von 1 zu 2 Tagen weiter untersucht. Die Chromatien waren in lebhafter Vermehrung begriffen. Es waren aber keine Knospen und Verbindungsstadien mehr zu finden, wohl aber eine Menge von kleineren und besonders großen Formen.

Bei einer anderen Chromatiumart, *Chromatium Weissii*, stellte ich ebenfalls das Auftreten von Knospen und Verbindungsstadien fest. Diese etwas kleinere Art trat zusammen mit anderen *Thiorhodobakterien* an der Glaswand eines Aquariums, in dem *Elodea* und Algen verfaulten, in größeren Mengen auf. Die Knospen und Brücken waren kleiner und schwächer lichtbrechend als bei *Chromatium Okenii*. Nur  $\frac{1}{2}$ — $1\ \mu$  lang und  $\frac{1}{2}\ \mu$  breit, traten sie an allen Stellen des Chromatienkörpers, meist in einer Reihe nebeneinander (Fig. 3 a), doch häufig an einem Pol auf

(Fig. 3 b). Verbindungsstadien konnte ich ebenfalls feststellen (Fig. 3 c).

Wenn ich den zur Züchtung von Purpurbakterien hergestellten Kulturen keinen Gips zusetzte, so traten neben wenigen Chromatien Purpurspirillen in größerer Zahl auf. Etwa 8—10 cm von der Wasseroberfläche entfernt zeigte sich bei den im Sommer 1921 angesetzten Rohkulturen schon nach 8—10 Tagen an der Glaswand des Gefäßes ein rotbrauner Ring, der größtenteils von einem *Rhodospirillum* gebildet wurde, das dem *Rhodospirillum photometricum* gleich. In der erwähnten früheren Mitteilung habe ich schon ausführlich über die eigenartigen Erscheinungen, welche bei diesem wegen seiner Lichtempfindlichkeit so genannten *Spirillum* auftreten und die meiner Meinung nach den Vorgängen bei Chromatien analog sind, berichtet. Die Spirillen tragen seitlich oder auch an einem Pol kleine, schwach lichtbrechende  $1\ \mu$  breite,  $\frac{1}{2}$ — $1\ \mu$  lange Knospen. Ob diese Knospen den Ausstülpungen, welche Zettnow<sup>11)</sup> an *Spirillum serpens* beobachtete und photographierte oder den Knospen, die Meirowsky<sup>12)</sup> an *Spirillum rubrum* und *Spirillum tyrogenum* Denecke sah, homologe Gebilde sind, wage ich nicht zu entscheiden.



Fig. 3. *Chromatium Weissii* mit Knospen und ein Verbindungsstadium. Vergr. 1500 : 1.



Fig. 4. Verbindungsstadium von *Spirillum photometricum*. Vergr. 1500 : 1.

Meirowsky glaubt, daß die Knospen eine Rolle in der Entwicklungsgeschichte der Bakterien spielen. Er kommt zu diesem Schluß, weil er aus den losgelösten Knospen kurze Spirillen hervorragen sah, die, wie er meint, zu Spirillen von normaler Größe heranwachsen. Irgendwelche Verbindungsstadien hat Meirowsky nicht bemerkt. Ich selbst konnte in sehr vielen Fällen das Entstehen einer starren Verbindung beobachten. Das eine *Spirillum* legte sich mit der Knospe an die Membran des anderen an. Nach einigen zitternden Bewegungen war plötzlich eine starre Verbindung hergestellt (Fig. 4).

Die Trennung erfolgte nach etwa viertelstündiger bis mehrstündiger Dauer der Verbindungen, wobei die Brücke ungeteilt bei dem einen *Spirillum* blieb. Die Beobachtung des Vorganges

<sup>11)</sup> Zettnow, E., Centralbl. f. Bakt., Abt. II, Bd. 10, S. 689, 1891.

<sup>12)</sup> Meirowsky, Studien über die Fortpflanzung von Bakterien, Spirillen und Spirochäten. Berlin, Julius Springer, 1914.

war schwierig, da die Trennung unter heftigen Bewegungen meist ruckartig erfolgte und die Spirillen sich gleich weiter schraubten. Was die Struktur der Brücken und Knospen angeht, so zeigen beide häufig in der Mitte gleichlaufend mit der Längsrichtung des *Spirillum* eine je nach Einstellung bald helle, bald dunkle Linie. Lebendfärbung nach Zettnow, Färbung mit stark verdünnter Methylenblaulösung, ergab blau gefärbte Knospen und Spirillen. Die Knospen und Brücken färben sich etwas stärker als das Spirillum selbst. Die helle Linie in der Mitte bleibt ebenso wie bei den Chromatiumknospen und -brücken ungefärbt.

Dauerpräparate, die ich durch Trockenfixierung herstellte, ergaben gefärbt verhältnismäßig gute, der Struktur der lebenden Zelle entsprechende Bilder. Die Brücke zeigte meist deutlich die charakteristische helle, ungefärbte Linie in der Mitte, die manchmal mehr oder weniger schräg zur Längsrichtung des Spirillums verlief. Färbung nach Giemsa ergab blauviolett gefärbte

der beiden Spirillen von der Knospe nichts mehr zu sehen. Erst bei Lebendfärbung mit Methylenblau, Gentianaviolett oder nach Giemsa traten Knospen und Brücken, die sich mit den genannten Farbstoffen stark färbten, deutlich hervor (Fig. 7).

Bei einer *Pseudomonas*art beobachtete ich ebenfalls Verbindungsstadien. Ob die oben erwähnten von Fuhrmann bei *Pseudomonas cerevisiae* beobachteten Erscheinungen in irgendeiner Beziehung zu den von mir festgestellten Verbindungen stehen, erscheint mir zweifelhaft. Fuhrmann äußert sich nicht über die Färbbarkeit des Verbindungsfadens. Handelte es sich um eine Verbindung durch eine Knospe, so wäre ihm sicher die intensive Färbung der Brücken, die sich meist stärker färben als die Bakterien, aufgefallen (siehe Fig. 12). Anschwellungen an den Enden der Stäbchen, die Fuhrmann erwähnt, habe ich nicht bemerkt. Das Entstehen von Verbindungsstadien und die Trennung, Vorgänge, die ich mehrfach bei meinen Untersuchungen von



Fig. 5. Verbindungsstadium von *Spirillum photometricum*, trocken fixiert, Färbung nach Giemsa. Vergr. 500:1, Mikrophotogramm.



Fig. 6. Spirillen mit 2 Brücken. Vergr. 1500:1.



Fig. 7. Verbindungsstadium von *Spirillum volutans*. Vergr. 2000:1.

Brücken, bei rotviolettem Spirillenkörper mit blauvioletten Einschlüssen und hellen Vakuolen (Fig. 5).

Häufiger kam es vor, daß zwei Brücken die Spirillen verbanden. Ich sah solche Stadien bei fixierten und gefärbten, wie auch bei lebenden Spirillen (Fig. 6).

Ähnliche Erscheinungen wie bei *Spirillum photometricum* konnte ich bei Reinkulturen von *Spirillum volutans*, die ich der Freundlichkeit von Herrn Professor Zettnow verdanke, feststellen. Die Knospen waren bei dieser Spirillenart von wechselnder Größe, von 0,2  $\mu$  bis zu 0,5  $\mu$  Länge und 0,2  $\mu$  bis 0,4  $\mu$  Breite. Wegen der geringen Größe der Knospen und der stark lichtbrechenden Einschlüsse der Spirillen war die Beobachtung der nur schwach lichtbrechenden Knospen bei lebend ungefärbten Spirillen sehr schwierig. Legte sich ein *Spirillum* an die Knospe und entstand eine Verbindung, so war infolge der Lichtbrechung an den Membranen

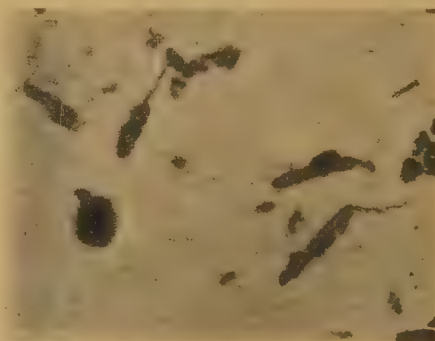


Fig. 8. *Pseudomonas* sp. Geißelfärbung. Vergr. 1000:1, Mikrophotogramm.

lebendem, ungefärbtem Material feststellen konnte, hat Fuhrmann nicht beobachtet.

Ich fand die *Pseudomonas* mit ihren Verbindungsstadien im Abwasser einer Brauerei, das meist eine Temperatur von 20–25° hat. Die Stäbchen waren 1  $\mu$  breit und kurz nach der Teil-



lung etwa  $6\mu$  lang. Sie zeigten stark lichtbrechende Körnchen von unregelmäßiger Lagerung. Bei kürzeren Stäbchen war nur an einem Pol ein Büschel von Geißeln vorhanden, die meist zu einem Zopf verflochten waren (Fig. 8). Längere Stäbchen trugen an jedem Pol ein Geißelbüschel. Eins war immer stärker und länger. Die schwach lichtbrechenden Knospen und Brücken traten meist seitlich an den Stäbchen in Ein- oder Mehrzahl auf (Fig. 9 u. 10). Stäbchen mit Knospen und Brücken bewegten sich meist lebhaft. Zuweilen waren die Stäbchen an einem Ende leicht gebogen und trugen dann an der konvexen Seite der Biegung eine Knospe. Derartige Formen waren gleich lebhaft beweglich wie die

Bei dem jetzigen Stand unserer Kenntnisse weitgehende Schlüsse aus den referierten Beobachtungen zu ziehen, wäre verfrüht. Doch steht wohl jetzt schon außer allem Zweifel, daß wir in den geschilderten Erscheinungen sexuelle Vorgänge irgendwelcher Art vor uns haben. Betonen möchte ich, daß nur Lebendbeobachtungen, nicht etwa die beigegebenen Zeichnungen<sup>13)</sup> und Mikrophotogramme ein richtiges Bild von diesen eigenartigen Verbindungsstadien geben können. Wer einmal die merkwürdigen Suchbewegungen von *Spirillum photometricum*, *Pseudomonas* und *Spirillum volutans*, Arten, bei denen ich mehrfach das Entstehen von Verbindungen feststellte, sah, wird nie an ein rein mechanisches Festhaften von vielleicht parasitären Kokken zwischen zwei Bakterien, zu welcher Vermutung die Bilder Anlaß geben könnten, denken. Auch die Erscheinungen bei der Trennung, die meist unter gewaltsamen Bewegungen der Bakterien heftig ruckartig erfolgt, sprechen gegen eine solche Annahme.



Fig. 9. Verbindungsstadium von *Pseudomonas* sp. Vergr. 2000:1.



Fig. 10. *Pseudomonas* sp. Doppelverbindung. Vergr. 2000:1.



Fig. 11. Verbindung von geradem und gekrümmtem Stäbchen. Vergr. 2000:1.



Fig. 12. Verbindungsstadium von *Pseudomonas* sp., trocken fixiert, Färbung mit Eisenhämatoxylin. Vergr. 1000:1. Mikrophotogramm.

geraden Stäbchen. Verbindungen zwischen geraden und gekrümmten Bakterien habe ich häufiger beobachtet (Fig. 11).

Verbindungsstadien entstanden nach minutenlangen zitternden Bewegungen. Die Dauer der Verbindungen war verschieden, von 15 Minuten bis zu einigen Stunden. Während dieser Zeit bewegten sich die Stäbchen fortwährend lebhaft, doch veränderten sie trotz der heftigen Bewegungen ihre Lage zueinander nicht mehr. Obwohl die Knospen im Verhältnis zur Größe der Bakterien sehr klein waren, genügten sie doch, die beiden Bakterien starr miteinander zu verbinden.

Dauerpräparate stellte ich her nach dem Verfahren von Schaudinn (Fixierung mit heißem Sublimatalkohol) und durch Trockenfixierung. Die Resultate waren annähernd gleich. Fig. 12 stellt ein Verbindungsstadium dar (Trockenfixierung und Färbung mit Eisenhämatoxylin). Die Brücke erscheint deutlich stärker gefärbt als die Bakterien.

Was aber in der Brücke während der Verbindung vorgeht, welche Reaktionen dabei das Zellinnere zeigt, welches die Vorgänge nach der Trennung sind, das alles entzieht sich noch meiner Kenntnis. Erst die Lösung dieser Fragen wird uns Aufschluß darüber geben, welcher Kategorie von Sexualreaktionen wir unsere Verbindungen einzureihen haben. Um eine Kopulation im botanischen Sinne, wie z. B. bei den Schwärmern der Grünalge *Ulothrix*, d. h. eine Verschmelzung des Plasmas und der Kerne der beiden Gameten zu einer Zygote, handelt es sich keinesfalls. Ebenso liegt sicher keine Konjugation im botanischen Sinne, wie etwa bei *Spirogyra*, vor. Ob wir es mit einer Konjugation wie bei *Paramae-*

<sup>13)</sup> Die Figuren sind nach Zeichnungen mit dem Zeichenapparat oder freien Handzeichnungen bei einer Vergrößerung 1000:1 (Zeiß homogene Immersion, Achromat  $\frac{1}{12}$ , Okular 4) entworfen. Die Mikrophotogramme sind mit Ausnahme von Fig. 5, welches mit Okular 2 photographiert wurde, ebenfalls mit dem genannten Objektiv und Okular aufgenommen.

cium oder anderen Infusorien, einem Austausch von Kernsubstanz von Zelle zu Zelle zu tun haben, wird sich vielleicht feststellen lassen bei der zytologischen Untersuchung möglichst großer Bakterien mit ihren Brücken. Ich habe als Untersuchungsobjekt *Chromatium Okenii* gewählt, das wegen seiner Größe den meisten Erfolg verspricht. Ich selbst vermute nach meinen bisherigen Forschungsergebnissen, besonders den eingangs erwähnten Beobachtungen an Chromatien, daß von beiden Zellen aus Protoplasma oder vielleicht Kernsubstanz abgegeben und dann die Brücke als Zygote abgeschnürt wird, um sich später weiter zu entwickeln. Es würde sich dann um ähnliche Vorgänge wie bei den *Mucorineen* handeln.

Ob meine Vermutung zu Recht besteht, werden weitere Untersuchungen, die augenblicklich im Gange sind (kontinuierliche Beobachtung von Verbindungsstadien in der feuchten Kammer), zeigen.

### Der mathematische Kern der Außenweltshypothese.

Von Karl Gerhards, Aachen.

(Schluß.)

#### III.

*Mathematische Konstruktion des Gesamtmodells der Oberfläche aus dem Erscheinungsmodell; Diskussion ihrer Eindeutigkeit. Ergebnis: Im normalen Falle ist allein auf Grund des Verlaufes der Gesichterscheinungen der gleichzeitige Gesamtverlauf der Oberfläche, also mit Einschluß seiner nicht direkt wahrgenommenen Teile, eindeutig definierbar.*

Wir haben im vorigen Kapitel Folgendes festgestellt: In dem Modell des Oberflächenverlaufes, dem „Ontogramm“  $O$ , gibt es einen bestimmten Ausschnitt<sup>1)</sup>  $A_0$ , welcher denjenigen Teil des Oberflächenverlaufes darstellt, der im gegebenen Erscheinungsverlauf unmittelbar zur Wahrnehmung gelangt (bzw. bei der kinematographischen Aufnahme direkt Licht auf den Film entsendet). Zu diesem Ausschnitt  $A_0$  ist nun das kinematographische Modell des Erscheinungsverlaufes, das „Phänogramm“  $P$ , farbig homotop, d. h. es ist mit samt seinen Grenzflächen durch eine bloße Deformation in  $A_0$  überführbar. Vorausgesetzt ist dabei, daß man in  $P$  nur die „nächsten“ gegenseitigen Nachbarschaftsbeziehungen der farbigen Fäden berücksichtigt, also alle jene Verbindungen zwischen ihnen außer Betracht läßt, die infolge der Überschneidung der Erscheinungen zustande gekommen sind. Wir haben dies im vorigen Kapitel in anschaulicher Weise dahin ausgedrückt, daß man  $P$  vor der Ausführung der Deformation „zergliedern“, d. h. jene Überschneidungsverbindungen durchschneiden muß.

<sup>1)</sup> Der Index 0 soll hier und im folgenden überall den Buchstaben  $O$  bedeuten.

Mit der Feststellung dieser farbigen Homotopie zwischen  $A_0$  und  $P$  ist der erste Teil unserer Aufgabe gelöst. Wir wissen jetzt — um hier die Formulierung unseres ersten Kapitels zu wiederholen —, inwiefern  $A_0$  durch  $P$  „gedeckt“ wird. Im Sinne unserer Problemstellung ist diese Deckung völlige Äquivalenz: denn wir haben ja (im vorigen Kapitel) unsere Aufgabe ausdrücklich dahin präzisiert, daß nur der farbig-topologische Zusammenhang der Fäden von  $O$ , nicht aber sein „Momentanquerschnitt“ (in gewöhnlicher Ausdrucksweise: die stereometrische Form der Oberfläche) aus dem Phänogramm  $P$  abgeleitet werden soll. Für den Ausschnitt  $A_0$  von  $O$  erhalten wir eben jenen Fadenzusammenhang in vollkommen getreuer Nachbildung, wenn wir unser gegebenes  $P$  zergliedern: wir können in dieser Hinsicht  $A_0$  einfach durch das zergliederte  $P$  ersetzen, und umgekehrt. Was jetzt also noch übrig bleibt, ist die Untersuchung der Frage, inwiefern  $P$  bzw.  $A_0$  allein aus sich selbst heraus eindeutig ergänzt werden kann, derart, daß das so entstehende Gesamtgebilde zum ganzen Ontogramm  $O$  farbig homotop wird. Wir wollen eine derartige farbig-topologische Ergänzung kurz als „Totalisation“ bezeichnen; sie ist für unsere Modelle offenbar gleichbedeutend mit dem, was wir zu Anfang unserer Untersuchung die „Interpolation“ der bei der Wahrnehmung verdeckt gebliebenen Teile der Körperwelt genannt haben.

Um uns nun das anschauliche Material zu verschaffen, mit dem wir zunächst operieren müssen, verfahren wir folgendermaßen. Wir können uns den Ausschnitt  $A_0$  (oder auch das zergliederte  $P$ ) in eine Anzahl zeitlich aufeinanderfolgender Schichten zerlegt und in jeder solchen Schicht einen Momentanquerschnitt ausgewählt denken, derart, daß dieser Querschnitt nahezu alle Fäden seiner Schicht trifft. Diese Operation denken wir uns ausgeführt, die ausgewählten Momentanquerschnitte ihrer Zeitfolge gemäß numeriert, und sie dann in Form sehr dünner Blätter aus  $A_0$  bzw.  $P$  herausgenommen. Jedes solche Blatt aus  $A_0$  ( $P$ ) ist offenbar farbig kongruent (homotop) zu einem bestimmten Teil unserer Oberfläche selbst. Besteht dieser Teil aus einem einzigen Stück, so auch unser Blatt; ist dies (infolge von Überschneidungen, die bei der Aufnahme von  $P$  stattgefunden haben) nicht der Fall, so besteht auch das Blatt aus entsprechend vielen voneinander getrennten Stücken. Unter Umständen kann ein Blatt auch (man denke z. B. an die Fensteröffnungen unseres Zimmers) in seinem Innern siebartig durchlöchert sein. Wir nennen den Inbegriff dieser numerierten Blätter die zu  $A_0$  bzw.  $P$  gehörige „Blattfolge“. Im Sinne unserer Problemstellung sind diese beiden Blattfolgen offenbar einander äquivalent, da es uns ja nur auf die Homotopie, nicht auf die Kongruenz ankommt; der Anschaulichkeit halber wählen wir für unsere weiteren Überlegungen die aus  $A_0$  entnommene Folge, weil wir ihre Blätter ohne weiteres mit



dem betreffenden Teil der Oberfläche selbst zur Deckung bringen können. Wir bezeichnen diese Blattfolge mit  $B$ ; die Oberfläche selbst wollen wir von jetzt ab ebenfalls mit einem Buchstaben, und zwar mit  $F$ , bezeichnen.

In bezug auf Totalisation verhält sich nun  $B$  zu  $F$  analog wie  $A_0$  zu  $O$ . So wie wir uns  $A_0$  im Ontogramm  $O$  von unten nach oben, d. h. in der Zeit fortschreitend, *abgegrenzt* denken können, so können wir uns die Oberfläche  $F$  nach und nach mit den Blättern von  $B$  *belegt* denken, derart, daß der Reihe nach jedes Blatt mit dem zu ihm farbig kongruenten Teil von  $F$  zur Deckung gebracht wird. Der Anschaulichkeit halber wollen wir nun zunächst einmal zusehen, *inwiefern sich aus den Blättern von  $B$  nach und nach eine Oberfläche  $F$  eindeutig zusammensetzen läßt.*

Wir denken uns also jetzt das erste und ebenso das zweite Blatt von  $B$  richtig, wie eben angegeben, auf  $F$  gelegt. Die Frage ist, wann sich das zweite Blatt *allein* vom ersten aus, also *ohne  $F$*  selbst als Unterlage (als „Hypothese“!) zu benutzen, richtig hinlegen läßt. Das geht offenbar dann, wenn das zweite Blatt, richtig auf  $F$  gelegt, das erste teilweise *überdeckt*, und wenn eben diese Überdeckung von den beiden Blättern *allein* aus schon eindeutig feststellbar ist. Die einzige Möglichkeit hierzu bietet die *farbige Homotopie*, welche die einander überdeckenden Teile der beiden Blätter zu dem von ihnen gemeinsam überdeckten Teil von  $F$  und also auch zueinander aufweisen müssen. Setzen wir voraus, daß diese farbig homotope Zuordnung die *einzige* ist, die zwischen den beiden Blättern überhaupt besteht, und daß sie zugleich nur auf eine *einzige* Art vollziehbar ist<sup>11)</sup>, so ist die richtige Zusammensetzung der beiden Blätter offenbar schon von ihnen *allein* aus möglich, nämlich dadurch, daß man *ihre farbig homotopen Teile identifiziert*. Wir nennen dies die „Totalisation“ der beiden Blätter; das Ergebnis bezeichnen wir als das zugehörige „Totalblatt“; den unmittelbar durch die Identifikation entstandenen Teil nennen wir das „Mittelstück“ des Totalblattes. Offenbar ist ein solches Totalblatt äquivalent mit dem Inbegriff von drei Flächenteilen, von denen zwei unmittelbar an den dritten (das „Mittelstück“) angrenzen. — Es sei noch einmal hervorgehoben, daß jedes der beiden ursprünglichen Blätter auch aus *mehreren getrennten Stücken* bestehen kann, und daß im „Innern“ der Stücke auch *Löcher* vorkommen dürfen. Das gleiche kann dann natürlich auch bei dem Totalblatt der Fall sein.

Eine Folge von Blättern, von denen das erste mit dem zweiten Blatt totalisierbar ist, das zugehörige Totalblatt mit dem dritten Blatt, und so fort das jeweilige Totalblatt mit dem nächstfolgenden Blatt, nennen wir eine „totalisierbare Folge“. Eine solche Folge ist offenbar einem

*Flächenstreifen* äquivalent. Es ist nun ein Problem der Topologie, inwiefern sich aus einem fortlaufenden Flächenstreifen eine Fläche eindeutig zusammensetzen läßt. Wir brauchen dieses rein mathematische Problem nicht allgemein zu erörtern, sondern können uns für das Folgende auf den Fall beschränken, wo sich der Flächenstreifen *spiralförmig* um sein Anfangsstück herumwindet und dabei beständig an seine eigene Grenze anschließt. Daß er dabei eindeutig ein Flächenstück zu erzeugen vermag, liegt auf der Hand. Eine totalisierbare Folge, die einem derartig fortlaufenden Flächenstreifen entspricht, nennen wir eine „Spiralfolge“. Von besonderer Wichtigkeit sind nun für uns die „Schließungsfolgen“, d. h. diejenigen Spiralfolgen, bei denen sich die erzeugte Fläche schließt. Geht eine solche Folge dann noch weiter in der bisherigen Weise fort, so läuft sie in die Fläche zurück, d. h. es finden *nur* noch Identifikationen statt. Es kann nun sein, daß sich eine Spiralfolge bereits nach *einigen wenigen* Blättern im ganzen schließt, derart, daß in der erzeugten Fläche höchstens noch einige Löcher sind. Derartige Folgen wollen wir „ausgezeichnete Schließungsfolgen“ nennen.

Eine ausgezeichnete Schließungsfolge tritt z. B. dann auf, wenn wir uns mit einigen wenigen Blicken in unserem Zimmer orientieren wollen. Von außen die Tür öffnend, erfassen wir etwa mit dem ersten Blick, noch von der Schwelle aus, die rechts von der Tür und zugleich die ihr gegenüberliegende Wand des Zimmers und bekommen außerdem noch einen großen Teil des Fußbodens und einen kleineren der Decke zu Gesicht; der zweite Blick gilt, nach links weitergleitend, der linken Wand und dem links auf uns zu liegenden Teil des Fußbodens; dann, über die Schwelle tretend, uns etwas links herum zurückwendend und nun den Kopf von unten nach oben richtend, erblicken wir, während das Bild des Fußbodens sich vor uns *schließt*, von ihm aus die ganze Türwand, zusammen mit bereits früher gesehenen Teilen der beiden Seitenwände; ein vierter Blick an die Decke gibt endlich auch den oberen Abschluß. Grenzen wir hier die jeweils erblickten Teile der Zimmeroberfläche ab, so haben wir offenbar eine aus vier Blättern bestehende ausgezeichnete Schließungsfolge vor uns: der gegenseitige Zusammenhang der Blätter ist durch ihre teilweisen Überdeckungen eindeutig bestimmt und in sich geschlossen, nur in seinem Innern werden noch Löcher sein, da wir — wenigstens wenn einige Möbel im Zimmer stehen — nicht die ganze Zimmeroberfläche zu Gesicht bekommen haben. Es ist klar, wie sich diese Löcher durch totalisierende Fortführung der Schließungsfolge ergänzen lassen. Endgültig als Löcher bestehen bleiben nur die Fenster, da die in ihrem Innern sichtbaren Erscheinungen keine „nächste“ Nachbarschaft mit denen der Zimmeroberfläche aufweisen.

In Fig. 6 sind die vier ersten Blätter unserer ausgezeichneten Schließungsfolge schematisch durch Kreise dargestellt und die jeweiligen (schrattierten) Mittelstücke durch die Ziffern der zugehörigen Blätter bezeichnet. Blatt 3 ist natürlich derjenige Teil der Zimmeroberfläche, der in der Figur *außerhalb* des zugehörigen (gestrichelten) Kreises liegt.

Wir wollen nun annehmen, daß die zu  $A_0$  gehörige Blattfolge  $B$  in der eben angegebenen

<sup>11)</sup> Vgl. dazu die nächste Anmerkung.

Weise sich eindeutig zu einer geschlossenen Fläche  $F$  totalisieren lasse. Dann können wir von  $A_0$  aus ebenso eindeutig das Ontogramm  $O$  erhalten. Der anschaulichste Weg dazu ist dieser: wir entnehmen zunächst aus  $A_0$  die Blattfolge  $B$ , totalisieren sie zu  $F$  und definieren nun  $O$  als einen Strang, der aus lauter paarweise nächstbenachbarten farbigen Fäden besteht, welche zu den Punkten von  $F$  farbig homotop sind.

Damit ist also das mathematische Problem unserer Totalisation bereits völlig klargelegt: es ist identisch mit dem Problem, eine bunt-punktierte Fläche aus teilweise miteinander identifizierbaren Blättern eindeutig zusammenzusetzen.

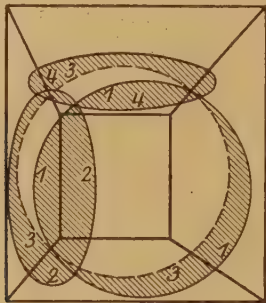


Fig. 6.

Wir können aber auch das Ontogramm  $O$  von seinem Ausschnitt  $A_0$  aus aufbauen, indem wir in  $A_0$  selbst von unten nach oben (d. h. also in der Zeit vorwärts) fortschreiten. Zu diesem Zweck gehen wir von der Schichteneinteilung von  $A_0$  aus, die uns vorhin zur Blattfolge  $B$  verholfen hatte. Wir nennen jede solche Schicht ein „Querstück“ von  $A_0$ ; den Zusammenhang und die Reihenfolge dieser Stücke in  $A_0$  sehen wir als gegeben an. Zu jedem solchen Querstück können wir nun mathematisch eindeutig ein anderes definieren, welches wir seinen „oberen Fortsatz“ nennen wollen.



Fig. 7.

Als Beispiel hierzu benutzen wir den ersten Strang der im vorigen Kapitel enthaltenen Fig. 2, den wir als Fig. 7 noch einmal hersetzen<sup>12)</sup>. Ist etwa das Strangstück  $t_k$  in concreto gegeben, so können wir offenbar beliebig viele Strangstücke definieren, welche:

1. mit  $t_k$  gleichartig, d. h. zu ihm farbig homotop und gleichgerichtet sind,
2. an ihrer unteren Grenze mit der oberen Grenze von  $t_k$  farbig homotop zusammenfallen.

Ein einziges aus der Klasse der so definierten Strangstücke greifen wir nun heraus, bezeichnen es mit  $o(t_k)$  und nennen es den „oberen Fortsatz“ von  $t_k$ . Die obere Grenze von  $o(t_k)$  bleibt bis auf weiteres unbestimmt.

In Fig. 7 ist  $o(t_k)$  von  $t_k$  aus nach  $t_{k+1}$  hin punktiert ausgezogen. Man sieht, daß sich auch zu jedem Querstück von  $A_0$  ein solcher oberer Fortsatz definieren läßt. Ist nun diese Definition etwa für das erste Querstück  $q_1$  von  $A_0$  ausgeführt, und wird uns nun, auf  $q_1$  folgend, ein zweites Querstück  $q_2$  von  $A_0$  gegeben, derart, daß die zu  $q_1$  und  $q_2$  gehörigen Blätter in der früher angegebenen Weise totalisierbar sind, so sind offensichtlich auch  $q_1$  und  $q_2$  selbst totalisierbar: wir brauchen dazu nur  $o(q_1)$  soweit als möglich mit  $q_2$  zu identifizieren, gerade so, wie wir früher die beiden Blätter soweit als möglich miteinander identifiziert haben. Fig. 7 illustriert den Fall, wo das zweite Querstück ganz zum ersten homotop, aber von ihm getrennt ist. In diesem Fall identifizieren wir den ganzen oberen Abschnitt von  $o(q_1)$  mit  $q_2$  (in der Bezeichnung der Figur: den oberen Abschnitt von  $o(t_k)$  mit  $t_{k+1}$ ). Geht hingegen  $q_1$  unmittelbar in  $q_2$  über, so haben wir, soweit dies der Fall ist,  $o(q_1)$  selbst mit  $q_2$  zu identifizieren.

In dieser Weise fortfahrend, können wir nun offenbar  $A_0$  nach und nach gerade soweit totalisieren, als sich die Blattfolge  $B$  totalisieren läßt. Wir erhalten dann den oberhalb von  $A_0$  liegenden Teil von  $O$ , und es braucht nicht ausgeführt zu werden, daß dieser Teil sich nun auch eindeutig nach unten fortsetzen läßt. Ist uns nicht  $A_0$ , sondern  $P$  selbst in der Zeit fortschreitend gegeben, so brauchen wir nur von Querstück zu Querstück die Zergliederung von  $P$  mit der eben beschriebenen Totalisation zu verbinden, um schließlich wiederum das  $O$  (in farbig homotoper Form) zu erhalten. Daß die Querstücke von  $P$  oben und unten nicht gerade unbedingt von Momentanquerschnitten begrenzt zu sein brauchen, wie wir bisher der Einfachheit halber angenommen haben, bedarf ebenfalls keiner weiteren Ausführung. —

Damit haben wir nun auch den zweiten Teil unserer Aufgabe erledigt; wir haben festgestellt, inwiefern  $P$  allein aus sich selbst heraus eindeutig totalisierbar ist. Wir wollen hier noch einmal

rot, grün, blau aufweisen, wäre auf drei Arten farbig homotop auf sich selbst beziehbar. — Andererseits genügt es zur Eindeutigkeit der farbigen Homotopie zweier Blätter (oder Blatteile) schon, daß ihre Grenzen nur auf eine Weise einander farbig homotop zugeordnet werden können; mit deren Zuordnung ist auch die Zuordnung der ganzen Blätter festgelegt. Der einfache Beweis dieses Satzes kann hier übergangen werden.

<sup>12)</sup> An Fig. 7 können wir auch erläutern, daß nicht jede farbige Homotopie nur auf eine einzige Weise vollziehbar sein muß. Nehmen wir z. B. an, daß die Fäden 1 und 4 sowie die Fäden 2 und 3 in Fig. 7 je dieselbe Farbe haben, so läßt sich außer der in Fig. 7 angegebenen farbig homotopen Zuordnung der beiden Strangstücke  $t_k$  und  $t_{k+1}$  auch noch eine zweite vollziehen, bei der den Fäden 1, 2, 3, 4 von  $t_k$  die Fäden 4, 3, 2, 1 entsprechen. Wo der innere Nachbarschaftszusammenhang zweidimensional ist, wie bei den Blättern von  $B$  oder den Querstücken von  $A_0$ , da kann natürlich eine farbig homotope Zuordnung je nachdem auf viele verschiedene Arten möglich sein. Ein Kreis mit neun Sektoren z. B., die nacheinander die Farben



genau die Bedingungen für die Totalisierbarkeit zweier *aufeinander folgenden* Querstücke von  $P$  angeben:

Sind  $q_1$  und  $q_2$  zwei aufeinander folgende Querstücke des zergliederten  $P$ , so muß ein gewisser Teil  $r_{12}$  von  $q_1$  auf eine *einzig* Weise farbig homotop auf einen gewissen Teil  $r_{21}$  von  $q_2$  beziehbar sein, derart, daß der Innen- (Außen-) grenze von  $r_{12}$  die Außen- (Innen-) grenze von  $r_{21}$  entspricht. Innengrenze des Teiles  $r$  ist hierbei diejenige Grenze, welche  $r$  von dem übrigen Teil von  $q$  trennt, also *nicht* zur Grenze von  $q$  selbst gehört. Soweit die Grenze von  $r$  nicht Innengrenze ist, ist sie Außengrenze. — Mit diesen Bedingungen äquivalent ist es offenbar, wenn wir in der früher angegebenen Weise verlangen, daß die zu  $q_1$  und  $q_2$  gehörigen *Blätter* eindeutig miteinander totalisierbar sein sollen. Ferner ist klar, daß die  $q$  und  $r$ , genau wie ihre zugehörigen Blätter, auch aus je zwei oder mehr voneinander getrennten Stücken bestehen und in ihrem Innern Löcher haben dürfen.

Ist die zu  $P$  gehörige Blattfolge fortschreitend totalisierbar, so nennen wir auch  $P$  selbst „*fortschreitend totalisierbar*“. Ist die Blattfolge dazu noch eine ausgezeichnete Schließungsfolge, so daß sich aus  $P$  nach kurzer Zeit schon das Ontogramm einer im großen ganzen geschlossenen Fläche eindeutig definieren läßt, so nennen wir  $P$  „*normal*“. Ist die Folge außerdem so reichhaltig, daß sich auch die Löcher der Fläche durch fortgesetzte Totalisation schließen oder eindeutig abgrenzen lassen, so nennen wir  $P$  „*vollständig*“. Im allgemeinen wird  $P$  früher normal als vollständig sein, wie schon das in Fig. 6 illustrierte Beispiel unserer Zimmeroberfläche zeigt. — Auf den zu  $P$  gehörigen Erscheinungsverlauf lassen sich offenbar die eben gegebenen Definitionen sofort übertragen.

Vom mathematisch - naturwissenschaftlichen Standpunkt aus können wir nunmehr das Ergebnis dieses Kapitels wie folgt zusammenfassen:

Die Frage, inwiefern sich *überhaupt* ein fortschreitend totalisierbares Phänogramm eindeutig zum Ontogramm einer Fläche ergänzen läßt, ist äquivalent mit der rein topologischen Frage, inwiefern sich aus Flächenstücken, die einander mit bestimmten Teilen überdecken sollen, eindeutig eine Fläche zusammensetzen läßt. Handelt es sich aber speziell um die gewöhnliche Gesichtswahrnehmung geschlossener Körperoberflächen, so ist das Phänogramm in dem vorhin angegebenen Sinne „normal“. Es ist daher der raumzeitliche *Gesamtverlauf* der Oberfläche — also mit Einschluß seiner nicht unmittelbar wahrgenommenen Teile — *allein* vom Erscheinungsverlauf aus in eindeutigem Fortschritt topologisch definierbar, wofür nur jedes Stück der Oberfläche nach und nach wenigstens einmal unmittelbar zur Erscheinung gelangt.

#### IV.

*Nächste Folgerungen, Beispiele, anschließende Aufgaben. Zusammenhang mit den erkenntnis-kritischen Grundgedanken K ül p e s. Fernes Ziel: eine positive Theorie des physikalischen Forschungsverfahrens.*

Wir haben nunmehr das Problem unserer Untersuchung völlig gelöst: wir haben wenigstens für den elementarsten Fall, für die normale Oberflächenwahrnehmung, den *mathematischen Zusammenhang* aufgedeckt, der zwischen dem gegebenen Verlauf unserer Gesichtserrscheinungen und der darauf fußenden Hypothese der fort-dauernden Körperwelt besteht. Wir haben, über *Helmholtz* und *Mach* prinzipiell hinausgehend, jenen Zusammenhang „in mathematischen Definitionen, wie sie der Geometer sich konstruieren könnte“, bestimmt. Bevor wir nun zu konkreten Beispielen übergehen, müssen wir zunächst noch drei Punkte kurz hervorheben.

Wie wir in der Einleitung sahen, ist die Fortdauer unserer Oberfläche, wenn wir den zugehörigen Erscheinungsverlauf als gegeben voraussetzen, im gewöhnlichen Verstande der Naturwissenschaft eine völlig hypothesenfreie Tatsache, die durch keine physikalische Theorie jemals umgestoßen werden kann, so wenig wie etwa die Tatsache, daß Köln gegenwärtig am Rhein liegt. Wir können nun den Sinn dieser Aussage genau präzisieren. Betrachten wir nämlich ein normales Phänogramm  $P$  bzw. den zu  $P$  farbig homotopen Ausschnitt  $A_0$  inmitten des aus ihm erzeugten Ontogramms  $O$ , so sehen wir, daß die von uns an  $A_0$  vorgenommene Ergänzung durchaus nicht die einzig denkbare ist. Mit  $A_0$  logisch *verträglich* ist vielmehr *jede* Hinzufügung, die  $A_0$  selber nicht alteriert, und wir sind auch nicht logisch genötigt,  $A_0$  *überhaupt* zu ergänzen. Wohl aber ist die angegebene Ergänzung die *einzig*, die sich überhaupt auf Grund von  $P$  bzw.  $A_0$  *allein* schon logisch eindeutig bestimmen läßt. In der Tat: wir können uns z. B. einen bösen Dämon vorstellen, der, während wir mit unserer Kamera im Zimmer kinematographieren, hinter unserm Rücken die fabelhaftesten Veränderungen der Zimmeroberfläche zuwege bringt, sie aber stets wieder rechtzeitig rückgängig macht, so daß wir ihnen nie auf die Spur kommen: dieses und noch beliebiges Andere können wir zu dem gegebenen Erscheinungsverlauf  $P$  hinzuphantasieren. Aber wir können alle derartigen logisch mit  $P$  verträglichen Ergänzungen nicht mehr einzig und allein auf Grund von  $P$  *allein* schon *eindeutig definieren*, so wie es bei  $O$  geschehen ist. In diesem Sinne ist also  $O$  tatsächlich „hypothesenfrei“, insbesondere auch *metaphysikfrei*, sobald wir eben ein normales  $P$  als „gegeben“ betrachten: unsere Ergänzung bleibt, in der Ausdrucksweise *Kants*, durchaus in den Grenzen der auf Grund von  $P$  „möglichen Erfahrung“.

Diese „mögliche Erfahrung“ können wir nun ebenfalls genau angeben. Wir hatten schon im ersten Kapitel von der zu suchenden Konstruktionsmethode verlangt, daß sie aus *jedem* normalen Wahrnehmungsablauf, der während einer bestimmten Zeit innerhalb einer bestimmten körperlichen Umgebung *möglich* sei, stets diese *selbe* Umgebung liefern müsse. Wir sehen nun an unseren graphischen Modellen klar ein, daß jene Forderung erfüllt ist. Denn betrachten wir die zu  $A_0$  gehörende Blattfolge  $B$ , die ja im normalen Falle eine ausgezeichnete Schließungsfolge ist, so sehen wir, daß sich in die zu ihr gehörige Fläche  $F$  noch viele andere Blattfolgen  $B'$  einzeichnen lassen, aus denen sich  $F$  *genau so wie aus  $B$  erzeugen läßt*. Zu jeder solchen Blattfolge  $B'$  können wir nun in  $O$  eine ganze Anzahl zugehöriger Ausschnitte  $A'_0$  abgrenzen, aus denen sich  $O$  wiederum *genau so erzeugen läßt wie ursprünglich aus  $A_0$* . Alle Phänogramme  $P'$  aber, die zu einem einzelnen solchen  $A'_0$  farbig homotop sind, stellen *zusammengenommen* eben den Bereich möglicher Erfahrung dar, der bei unserer Frage zunächst in Betracht kommt, denn aus jedem von ihnen läßt sich  $O$  *genau so erzeugen wie aus dem ursprünglich gegebenen  $P$* . Wir haben also hier in der Tat ein *vollkommenes mathematisches Analogon* zu der im ersten Kapitel erwähnten Konstruktion einer Kurve zweiter Ordnung aus fünf gegebenen Punkten: diesen fünf Punkten entspricht das „wirkliche“ Phänogramm  $P$ ; den übrigen Punktquintupeln der Kurve, aus denen sie sich in gleicher Weise wie aus dem ursprünglich gegebenen konstruieren läßt, entsprechen die „möglichen“ Phänogramme  $P'$ . Für unsern elementaren Fall ist damit gezeigt, daß der Kantische Ausdruck: „Gegenstand möglicher Erfahrung“ einen ganz bestimmten *mathematischen Sinn* hat<sup>13)</sup>.

Drittens endlich ist ohne weiteres zu sehen, inwiefern erst auf Grund der Totalisation von  $P$  auch das *Machsche* Ideal einer sparsamen und zugleich möglichst genauen *Bezeichnung* von  $P$  erfüllt wird. Denn wir können bei der Bezeichnung von  $O$  eine ganze *Dimension* sparen, wenn wir als Symbol die zugehörige Fläche  $F$  wählen. Nun ist zwar  $F$  auch ein Symbol für  $P$ , aber die Zuordnung zwischen  $P$  und diesem Symbol ist nur eindeutig, nicht auch umkehrbar eindeutig, denn jedem Stück von  $F$  entsprechen ja *alle* Erscheinungen, die es in  $P$  aufzuweisen hat, also im allgemeinen mehr als eine. Erst zwischen  $O$  und  $F$  ist die Zuordnung *umkehrbar* eindeutig. Wir sehen also, daß ein möglichst sparsames und genaues Zeichensystem für

$P$  zugleich auch ein *noch genaueres* Zeichensystem für  $O$  sein muß.

Zur Verdeutlichung unseres allgemeinen Ergebnisses wollen wir nun noch kurz auf einige Beispiele eingehen. Das Flechtmusterbeispiel unseres zweiten Kapitels ist, wie wir nun sehen, insofern weniger treffend, als unser Totalisationsverfahren aus dem gegebenen Flechtmuster zwar die einzelnen durchlaufenden Bänder des Flechtwerks und ihre eventuellen Verzweigungen, aber natürlich nicht ihre gegenseitige Durchflechtung zu liefern vermag. Ein vollkommen adäquates Beispiel *fortschreitender* Totalisierbarkeit hingegen liefert uns schon das Phänogramm, welches wir im zweiten Kapitel unter Zugrundelegung einer räumlich zweidimensionalen Welt, der Ebene  $E$ , konstruiert hatten. An diesem Beispiel, also an den Figuren 4 und 5, lassen sich alle Überlegungen des vorigen Kapitels, soweit sie nur die fortschreitende Totalisierbarkeit betreffen, unmittelbar anschaulich verfolgen, wobei natürlich die Dimensionenzahl um eins vermindert ist. Auch für die „normale“ Totalisierbarkeit (auf Grund von ausgezeichneten Schließungsfolgen), die uns ja hier vor allem interessiert, haben wir bereits, und zwar aus der wirklichen Welt, ein bezeichnendes Beispiel angeführt, nämlich die rasche Orientierung im Zimmer, die im vorigen Kapitel beschrieben und an Fig. 6 veranschaulicht ist.

Als zweites Beispiel normaler Totalisierbarkeit wählen wir nun einen beliebigen rundlichen Körper im *Innern* des Zimmers, den wir in die Hand nehmen und von allen Seiten betrachten können. Einen ganz einfachen Fall liefert uns eine geschlossene kleine Schachtel, etwa eine Streichholzschachtel, deren sechs Seiten farbig individualisiert sind. Innerhalb der Schachteloberfläche ist jede Seite mit vier anderen nächstbenachbart, mit der fünften hingegen nicht: diese liegt ihr im Raume gegenüber. Bezeichnen wir jede Seite mit einem der Buchstaben  $a$  bis  $f$  und verbinden die Buchstaben je zweier nächstbenachbarter Seiten durch einen Strich, so erhalten wir das in Fig. 8 gezeigte Zusammenhangsschema der Schachteloberfläche. Nach demselben Schema hängt nun offenbar auch der optische Erscheinungsverlauf zusammen, den uns die



Fig. 8.

Schachtel bei der Betrachtung darbietet: haben wir z. B. gerade eine „a-artige“ Erscheinung vor uns, so treten in deren nächster Nachbarschaft nur  $b$ -,  $c$ -,  $e$ - oder  $f$ -artige Erscheinungen auf, aber keine  $d$ -artigen, usw. Man sieht ohne weiteres, wie sich hier im Verlaufe der Gesichtserscheinungen ausgezeichnete Schließungsfolgen ergeben müssen, da wir ja im allgemeinen *drei* Seiten der Schachtel auf einmal zu sehen bekommen; und man sieht auch, daß diese Schließungsfolgen, solange wir die Schachtel in

<sup>13)</sup> An diesem Punkte scheint sich die vorliegende Untersuchung zu berühren mit gewissen Gedankengängen in *B. Russels* Werk: „Our knowledge of the external world as a field for scientific method in philosophy“, London 1914, das mir leider nur aus einer Besprechung (von *Bergmann* in den „Kantstudien“, 1920, S. 50 ff.) bekanntgeworden ist.



der Hand behalten, *durchaus getrennt bleiben* von den Erscheinungen der Zimmeroberfläche. Erst wenn wir die Schachtel wieder hinlegen, ändert sich dies: dann schließt sich das Ontogramm der Schachteloberfläche in unmittelbarer Nachbarschaft an das der Zimmeroberfläche (wozu wir hier auch die Außenseiten der Möbel rechnen) an und wird *als Teil dieses Ontogramms ebenso bestimmbar*, wie die Ontogramme der einzelnen Möbel es sind.

Gehen wir nun aus unserem Zimmer in ein anderes, um uns dort gleichfalls zu orientieren, so läßt sich nicht nur hier die „normale“ Totalisation des Erscheinungsverlaufs gleichfalls vornehmen, sondern es läßt sich auch, wie man sieht, das neue Ontogramm ohne weiteres an das alte anschließen, so wie sich innerhalb des einzelnen Zimmers die Ontogramme der Teile aneinander-schließen — vorausgesetzt natürlich, daß wir von dem Verbindungsweg zwischen den beiden Zimmern hinreichend viel zu Gesicht bekommen haben.

Treten wir endlich aus dem Hause ins Freie, so ergibt sich durch ein paar Blicke in die Gesamtumgebung wiederum eine ausgezeichnete Schließungsfolge; obgleich wir hier keine kompakte Oberfläche mehr um uns haben. Innerhalb dieser Folge bleibt nun unser ganzer optischer Erscheinungsverlauf, solange wir uns nicht allzuweit vom Ausgangsort entfernen. Es würde hier natürlich viel zu weit führen, wenn wir genauer untersuchen wollten, wie sich nun bei größeren Wanderungen im Freien die Schließungsfolgen miteinander kombinieren: inwiefern auch hier *eindeutige Totalisation im Großen* möglich ist, und andererseits, wie sie unter gewissen Umständen (z. B. im Nebel auf freiem Felde oder im weglosen einförmigen Walde) erschwert oder ganz unmöglich wird. Jedenfalls sehen wir, daß unsere Totalisation *den Elementarprozeß aller geographischen Orientierung* (im weitesten Sinne) darstellt, die wir auf Grund eigener Gesichtswahrnehmung vornehmen können. Analog ist es übrigens bei der Orientierung durch den Tastsinn; auch hierauf wollen wir jetzt nicht eingehen.

Nur ein Beispiel *astronomischer Orientierung* wollen wir noch etwas genauer betrachten: es betrifft den Zusammenhang des Sternenhimmels mit der Erde. Die erste „Theorie“ dieses Zusammenhanges, wie wir sie etwa bei *Homer* finden, lehrt, daß die Sterne ebenso wie Sonne und Mond „im Okeanos baden“, d. h. hinten am Ende der Welt, am äußersten Horizont, ins Wasser hinabsinken und darin wieder zu ihrem Aufgangspunkte zurückschwimmen. Dies ist die Theorie eines Beobachters, der stets am selben Ort der Erde bleibt, dessen Gesichterscheinungen unter freiem Himmel also im wesentlichen in einer einzigen ausgezeichneten Schließungsfolge verlaufen. Ein solcher Beobachter kann zwar auch aus einer hinreichend ausgedehnten Folge von Gesichtswahrnehmungen den in sich selbst geschlossenen zweidimensionalen Eigenzusammenhang des Sternenhimmels ermitteln, indem er sich die einzelnen Sternbilder und ihr Nebeneinander schematisch merkt, und er kann, indem er die vom Himmel dargebotenen Gesichterscheinungen rein nach diesem Schema totalisiert, auf die Vermutung kommen, daß „der Lauf der Sterne unter die Erde geht“, wie *Anaxagoras* es seinerzeit formuliert hat. Aber erst dann wird diese Vermutung über die des Okeanos den Sieg erringen, wenn sich zeigt, daß die Erscheinung des Sternenhimmels sich auch am Horizont gerade so jederzeit von den Erscheinungen der Erde *ab-lösen* läßt, wie z. B. von den Erscheinungen benachbarter Bäume; mit anderen Worten: *erst die tatsächliche Variation des Erscheinungsverlaufs, d. h. die Wanderung nach Norden und Süden* kann zwischen den beiden Vermutungen soweit entscheiden, daß diejenige des Okeanos aufgegeben werden muß. Es stellt sich dann eben heraus, daß die Erde sich im optischen Erscheinungsverlauf zum Sternenhimmel analog verhält, wie etwa eine inmitten des Zimmers frei schwebende Tischplatte zur Zimmeroberfläche sich verhalten würde. Im weiteren Verlauf der astronomischen Erfahrung hat sich nun die andere Vermutung, die der Himmelskugel, an allen Verlaufsgrenzen der Sternerscheinungen bewährt; auch heute noch ist ihr begrifflicher Kern, das sphärische Zusammenhangsschema, in dauernder Geltung: nämlich für die Lichtstrahlen, welche der Sternenhimmel nach irgendeinem Punkt der Erde hinsendet. —

Wir wollen nun noch einen Blick auf die nächsten Aufgaben werfen, zu denen unsere Untersuchung hinführt. Eine dieser Aufgaben ist *physiologischer Art*. Der psychischen Vorstellung eines bestimmten so und so aussehenden Körpers *K* entspricht ja, wie wir annehmen müssen, ein bestimmter Gehirnprozeß, der durch die von *K* aus erregten peripheren Empfindungsprozesse *automatisch* angeregt, eingeübt und reproduziert wird. Es ist klar, daß sowohl bei der Einübung als bei der Reproduktion dieses Prozesses der *gesetzmäßige Verlaufszusammenhang* der von *K* erzeugten optischen Empfindungsprozesse, den wir im Phänogramm dargestellt und in der bisherigen Untersuchung zum Teil analysiert haben, eine ganz wesentliche Rolle spielt, die bisher nur deshalb noch nicht genauer gewürdigt worden ist, weil man jenen Verlaufszusammenhang selber nicht genügend beachtet hat. Insbesondere ist hier der Zusammenhang in ausgezeichneten Schließungsfolgen von ganz fundamentaler Bedeutung. Im übrigen liegt natürlich diese physiologische Untersuchung, wie man sieht, ganz im Sinne von *Helmholtz* und *Mach*<sup>14)</sup>. — Die nächsten allgemeineren Aufgaben

Wir wollen nun noch einen Blick auf die nächsten Aufgaben werfen, zu denen unsere Untersuchung hinführt. Eine dieser Aufgaben ist *physiologischer Art*. Der psychischen Vorstellung eines bestimmten so und so aussehenden Körpers *K* entspricht ja, wie wir annehmen müssen, ein bestimmter Gehirnprozeß, der durch die von *K* aus erregten peripheren Empfindungsprozesse *automatisch* angeregt, eingeübt und reproduziert wird. Es ist klar, daß sowohl bei der Einübung als bei der Reproduktion dieses Prozesses der *gesetzmäßige Verlaufszusammenhang* der von *K* erzeugten optischen Empfindungsprozesse, den wir im Phänogramm dargestellt und in der bisherigen Untersuchung zum Teil analysiert haben, eine ganz wesentliche Rolle spielt, die bisher nur deshalb noch nicht genauer gewürdigt worden ist, weil man jenen Verlaufszusammenhang selber nicht genügend beachtet hat. Insbesondere ist hier der Zusammenhang in ausgezeichneten Schließungsfolgen von ganz fundamentaler Bedeutung. Im übrigen liegt natürlich diese physiologische Untersuchung, wie man sieht, ganz im Sinne von *Helmholtz* und *Mach*<sup>14)</sup>. — Die nächsten allgemeineren Aufgaben

<sup>14)</sup> Sie liegt zugleich durchaus in der Richtung der neueren physiologischen Psychologie, die ja — man denke nur an die Arbeiten von *Wertheimer*, *Köhler*,

sind dann die Untersuchungen der *zeitlichen Änderung* sowie der *stereometrischen Gestalt* von optisch erscheinenden Oberflächen. Dazu gehört die Analyse des *Zerschneidens* und *Wiederzusammenfügens* der Körper, die ja gleichfalls schon von *Helmholtz* berührt ist; ferner die Untersuchung der *Koinzidenzmessungen*, welche auf einer Oberfläche mit Maßstab oder Meßschnur nach geodätischer Methode vorgenommen werden<sup>15)</sup>. Bei den Gestaltuntersuchungen kommt natürlich der ganze Verlaufszusammenhang der perspektivischen Deformationen und variablen Koinzidenzen der Gesichterscheinungen in Betracht, von dem wir in der vorliegenden Untersuchung bewußt abgesehen haben.

Alle diese Untersuchungen aber sind nur die ersten kleinen Schritte zu einem noch weit entlegenen Ziel, nämlich zu einer *von unten auf beginnenden erkenntnistheoretischen Aufklärung des physikalischen Forschungsverfahrens*, die sich nicht auf Allgemeinheiten beschränkt, sondern bis in den konkreten Einzelfall hinein spezialisieren und verifizieren läßt. Den Weg zu diesem Ziel hat unter den neueren Philosophen insbesondere *Oswald Külpe* aufgewiesen<sup>16)</sup>. Die Grundtatsache, von der er ausgeht, ist die selbständige Verlaufsgesetzlichkeit der Sinnesinhalte, die uns in der äußeren Wahrnehmung unmittelbar gegeben sind. Diese „Selbstgesetzlichkeit“ oder „Fremdgesetzlichkeit“ festzustellen, ist nach *Külpe* die in erkenntnistheoretischem Sinne *erste Aufgabe* der Naturwissenschaft. Sobald man aber diese Aufgabe in Angriff nimmt, zeigt sich sofort, daß jene fremdgesetzlichen Beziehungen „weder an bestimmte Sinnesinhalte, noch an bestimmte Personen gebunden sind, an oder in denen sie auftreten, daß sie also auch dann vorkommen, wenn die Bewußtseinszusammenhänge und die Empfindungen wechseln, an denen sie erlebt werden. Dann müssen sie offenbar bestehen können, auch ohne daß Sinnesinhalte ihre scheinbaren Träger bilden, d. h. sie müssen von diesen verschiedene Beziehungsglieder haben“<sup>17)</sup>. Diese „primären“ Träger der fremdgesetzlichen

*Koffka, Poppelreuter* usw. — dem Problem der (den Empfindungsprozessen zentral übergeordneten) „Gestaltprozesse“ ihre ganz besondere Aufmerksamkeit zuwendet.

<sup>15)</sup> Auf die prinzipielle erkenntnistheoretische Bedeutung der „Koinzidenzmethode“ hat im Anschluß an *Einstein* zuerst *M. Schlick* hingewiesen. Wir haben im Vorigen diese Methode gewissermaßen verallgemeinert, indem wir nicht von Koinzidenzen, sondern von nächsten Nachbarschaftsbeziehungen der Gesichterscheinungen ausgingen. Damit sind auch gewisse Ergebnisse von *Schlick* noch weiter fundiert: vgl. „Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik“, 1919, S. 47 ff., 73 ff.

<sup>16)</sup> Vgl. zunächst *W. Wien*: „Neuere Entwicklung der Physik und ihrer Anwendungen“, 1919, S. 60 ff., oder neuerdings: „Aus der Welt der Wissenschaft“, 1921, S. 220 ff., und von *Külpe* selbst den auf der Königsberger Naturforscherversammlung 1910 gehaltenen Vortrag: „Erkenntnistheorie und Naturwissenschaft“.

<sup>17)</sup> Vgl. den Königsberger Vortrag, S. 23.

Beziehungen sind eben die realen Naturobjekte, und die Bestimmung dieser Objekte von jenen fremdgesetzlichen Beziehungen aus ist nach *Külpe* die *zweite Aufgabe* der naturwissenschaftlichen Erkenntnis. Sache der Erkenntniskritik aber ist es, die Kriterien und Methoden dieser Bestimmung aus dem Tatbestande der Naturforschung selbst herauszuanalysieren und sie dann in ihrem inneren systematischen Zusammenhang zu befreien<sup>18)</sup>.

Betrachten wir unter diesen Gesichtspunkten unsere bisherige Untersuchung, so können wir sagen, daß *Külpes* Grundauffassung jedenfalls für den elementarsten Fall physikalischer Erkenntnis, den wir im Vorigen analysiert haben, nämlich für die geographische *Kenntnis* unserer wahrnehmbaren Umgebung, *aufs genaueste bestätigt* worden ist. Wir haben ja an unsern anschaulichen Modellen gezeigt, wie sich in diesem Falle auf Grund des gesetzmäßigen Verlaufs der Gesichterscheinungen eindeutig ein System von Ähnlichkeits- und Nachbarschaftsbeziehungen definieren läßt, welches doch zugleich in einer ganz bestimmten Weise von der Individualität jenes Erscheinungsverlaufes unabhängig ist, derart, daß in einem genau angebbaren Bereich „die Empfindungen wechseln“ können, an denen jene Selbstgesetzlichkeit auftritt. Als anschaulichen Träger dieses Beziehungssystems haben wir unser Ontogramm *O* eingeführt: mit diesem *O* ist offenbar die reale Körperoberfläche als Fundament jenes Beziehungssystems äquivalent; denn jedem kleinen Teil von *O* entspricht umkehrbar eindeutig ein kleiner raumzeitlicher Teil der Körperoberfläche, und zwischen diesen Teilen bestehen ganz dieselben Ähnlichkeits- und Nachbarschaftsbeziehungen wie zwischen den entsprechenden Teilen von *O*.

Unsere Untersuchung ist also ein *erster konkreter Ansatz* zu der von *Külpe* geforderten „positiven Theorie“ der physikalischen Erkenntnis. Dieser Ansatz ist insofern nicht ganz unbeträchtlich, als wir ja nunmehr die *Grundlagen* zur geodätischen Ausmessung von Körperoberflächen mittels der Koinzidenzmethode *vollständig in der Hand* haben. Wie winzig aber dennoch unser Ansatz ist, das wird uns erst klar, wenn wir uns am graphischen Modell veranschaulichen, was eine solche Theorie einmal muß leisten können. Denken wir uns einen Naturforscher, der seit mehreren tausend Jahren, beobachtend und experimentierend und in ewiger Jugendkraft immer wieder seine Theorien verbessernd, den historischen Fortschritt oder, wie *Kant* sagt, den „sicheren Gang“ der astronomischen und physikalischen Erkenntnis in seiner Person verwirklicht. Denken wir uns den ganzen optischen Erscheinungsverlauf dieses Forschers in einem Phänogramm fixiert. Eine rechtschaffene Theorie der physikalischen Erkenntnis

<sup>18)</sup> Vgl. a. a. O. S. 11.



müßte nun imstande sein, an diesem Phänogramm entlang fortschreitend und es stets bis zur jeweils erreichten Grenze totalisierend, nach und nach die *Ontogramme aller jener konkreten Welten zu erhalten, die unser Naturforscher im Fortschritt seiner Theorien bestimmt*. Eine solche Theorie wird sich nicht auf positive oder negative Metaphysik gründen können, sondern nur einerseits auf die reine Mathematik, insbesondere die kombinatorische Topologie, andererseits auf die genaue phänomenologische Analyse des als gegeben vorauszusetzenden sinnlichen Erscheinungsverlaufs sowie der konkreten raumzeitlichen Welten, welche die Physik von jenem Erscheinungsverlauf aus in „sicherem Gang“ bestimmt hat. Von diesen Grundlagen aus wird sie erst die wahren Kategorien oder vielmehr (in *Kants* Ausdrucksweise) die wahren *Schemata* der physikalischen Erkenntnis definieren müssen, so wie wir bereits im dritten Kapitel (durch den Prozeß der „Fortsetzung“) das elementarste Schema der Substanz definiert haben. Und erst dann, wenn die allgemeinen Prinzipien der Theorie sich auf die vorhin angegebene Weise am historischen Tatbestand der Physik verifizieren lassen, dürfen wir behaupten, die große Frage *Kants* nach der Möglichkeit mathematischer Naturwissenschaft „genugtuend“ beantwortet zu haben.

### Besprechungen.

**Chwolson, O. D., Lehrbuch der Physik.** Zweite Auflage. Erster Band, erste Abteilung. Mechanik und Meßmethoden (1918). XII, 384 S. und 188 Abbildungen. Preis geh. M. 12,—; geb. M. 14,40 + T. Erster Band, zweite Abteilung. Die Lehre von den gasförmigen, flüssigen und festen Körpern (1918). X, 424 S. und 180 Abbildungen. Preis geh. M. 13,60; geb. M. 16,—. Zweiter Band, erste Abteilung. Die Lehre vom Schall (1919). IX, 154 S. und 93 Abbildungen. Preis geh. M. 7,—; geb. M. 9,60 + T. Herausgegeben von Gerhard Schmidt. Braunschweig, Vieweg & Sohn.

Der Charakter der vorliegenden zweiten Auflage hat sich gegenüber dem der ersten nicht geändert. Nach den Vorworten zum ersten und zweiten Band der ersten deutschen Auflage ist dieses Buch als ein Lehrbuch für den Lernenden, ja, für den Anfänger bestimmt, nicht aber als ein Handbuch für den schon ausgebildeten Physiker. Ich möchte glauben, daß eine erfolgreiche Durcharbeitung des Buches doch vielfach eine Übung im physikalischen Denken voraussetzt, wie sie im allgemeinen von Anfängern nicht verlangt werden kann. Die zahlreichen Kapitel, die die Grundgesetze der Physik in sehr ausführlicher, durchaus elementarer Weise darlegen, sind für den Anfänger zweifellos sehr geeignet. Andererseits wird die weitgehende Berücksichtigung, welche die vielen Einzelheiten und Feinheiten der physikalischen Erscheinungen, Gesetze und Meßmethoden bei der Darstellung gefunden haben, dem Anfänger Studium und Überblick der Zusammenhänge erschweren.

Für fortgeschrittene Studierende hingegen, die mit den wichtigsten Grundlagen der Physik und dem physikalischen Denken schon etwas genauer vertraut sind, wird das vorliegende Buch für eine weitere Ausbildung von außerordentlichem Nutzen sein. An Hand des-

selben werden sie sich eine umfassende Kenntnis der betrachteten Gebiete erwerben können, und es wird ihnen das tiefere Eindringen in ein Spezialgebiet durch das vorzügliche sehr reichhaltige Literaturverzeichnis ermöglicht.

Die erste Abteilung des ersten Bandes zerfällt, abgesehen von dem einleitenden Abschnitt über das Wesen der physikalischen Gesetze, in zwei Teile. Der erste Teil behandelt rein theoretisch, aber in durchaus elementarer Weise die Grundlagen der Mechanik. Hierbei werden zunächst die grundlegenden Bewegungsgesetze sehr einfach und ausführlich dargelegt. Sodann wird eine elementar gehaltene Darstellung der Wellenkinematik und der Erscheinungen bei der Fortpflanzung von Wellen gegeben, und ferner werden die Schwerkraft sowie die einfachsten und wichtigsten Formeln der Potentialtheorie behandelt. Von weiteren wichtigen Prinzipien der Mechanik wird noch das Energieprinzip in einem besonderen Abschnitt behandelt. Manche andere wichtige Prinzipien, wie z. B. das Prinzip von *d'Alembert*, sind nicht erwähnt.

Im zweiten Teil der ersten Abteilung, der ausführlich die verschiedensten Meßmethoden und die meisten wichtigen Meßinstrumente der Mechanik beschreibt, wird vielfach auch auf die Feinheiten der Instrumente und auf die Korrekturen, die an den einzelnen Meßresultaten anzubringen sind, ausführlich eingegangen. Besonders hervorgehoben sei der Abschnitt, welcher die verschiedenen Methoden zur Bestimmung der mittleren Erddichte behandelt.

Die zweite Abteilung des ersten Bandes ist der Lehre von den gasförmigen, flüssigen und festen Körpern gewidmet. Hier bietet das Buch neben einer elementaren Behandlung der wichtigsten Grundgesetze einen umfassenden Einblick in die Einzelheiten der physikalischen Forschung auf diesen Gebieten. Als Beispiel hierfür kann auf die Kapitel über die Kompressibilität und über die innere Reibung der Flüssigkeiten hingewiesen werden. Als ein besonderer Vorzug dieser und auch der folgenden Abteilung (2. Band) soll hervorgehoben werden, daß die verschiedenen Wege, auf denen die einzelnen Forscher zur Ermittlung einer bestimmten physikalischen Größe gelangt sind, vielfach mit ihren Vor- und Nachteilen nebeneinander ausführlich behandelt sind. Eine solche Darstellungsweise ist für den Fortgeschrittenen sicher besonders lehrreich.

Im zweiten Bande wird in der ersten Abteilung die Lehre vom Schall behandelt. Auch hier findet sich neben der ausführlichen Beschreibung der einfachsten Grundtatsachen eine ebenso genaue Darstellung fast aller wichtigen Einzelheiten und Feinheiten der Lehre von der Akustik. Besonders eingehend werden die Reflexion und Interferenz des Schalles, die Schwingungen von Saiten, Stäben und Membranen, ferner die Methoden zur Bestimmung von Schwingungszahlen sowie die verschiedenen Theorien der Kombinationstöne behandelt. Diese Abteilung schließt mit zwei Abschnitten über das menschliche Gehör und über die in der Musik gebräuchlichen Töne.

Die vorliegende zweite Auflage ist im wesentlichen eine Wiederholung der ersten. Nur in zweierlei Hinsicht sind erwähnenswerte Veränderungen vorgenommen worden. Zunächst hat der Herausgeber mit Erfolg den Text der dem Buche zugrundeliegenden Übersetzung einer stilistischen Umarbeitung unterzogen. Ferner sind einige Kapitel rein mathematischen und technischen Inhalts fortgelassen, um Platz für die Darstellung der neueren physikalischen Theorien zu schaffen.

H. Kallmann, Berlin-Westend.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Die räumliche Ausdehnung des Milchstraßensystems.

Über die Dimensionen des Milchstraßensystems herrscht noch eine erhebliche Unsicherheit. Während, um nur Extremwerte zu nennen, *H. v. Seeliger*<sup>1)</sup> als Durchmesser des Systems in der Ebene der Milchstraße den Betrag von 24 000 Lichtjahren hergeleitet hat, erhält *H. Shapley*<sup>2)</sup> für die große Achse seines Systems 200 000 Lichtjahre. Doch scheint dieser letztere Wert zu groß zu sein. *J. C. Kapteyn* und *P. J. van Rhijn*<sup>3)</sup> haben neuerdings für die kurzperiodischen Variablen vom Typus  $\delta$  Cephei eine 7,6mal so große mittlere Parallaxe gefunden, als sie *Shapley* bei seinen Arbeiten angenommen hat. Demnach wären alle Entfernungen im System *Shapleys* durch 7,6 zu dividieren, während das System in sich unverändert bleibt. Die große Achse würde auf 26 000 Lichtjahre zusammenschrumpfen. Aber wie *Kapteyn* selbst betont, ist sein Ergebnis ebenfalls noch mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet.

Zu kleineren Entfernungen im Milchstraßensystem als den *Shapleyschen* gelangt man auch bei dem Versuch, die Distanzen der hellen Milchstraßenwolken aus den vorliegenden Beobachtungsdaten zu ermitteln. Die Sternabzählungen in Verbindung mit der Bestimmung der Gesamthelligkeit ergeben, daß z. B. die helle Wolke im Schwan vorwiegend aus Sternen der scheinbaren Größe 14 bis 16 aufgebaut ist. Da nach den Untersuchungen *Shapleys* diese Sterne wahrscheinlich vom Spektraltypus A und F sind, so wäre diese helle Wolke etwa 13 000 bis 20 000 Lichtjahre entfernt. Weitere Einzelheiten in bezug auf die Sternverteilung und Entfernung bei den hellen Milchstraßenwolken sind in einer in den „Astronomischen Nachrichten“ erscheinenden Arbeit des Unterzeichneten gegeben.

Nur darauf sei hier hingewiesen, daß die für die helle Cygnuswolke gefundene Entfernung sich gut in die Anschauungen über den Aufbau des Sternsystems einfügt, die sich mehr und mehr herauszubilden scheinen, und durch welche mancherlei Widersprüche aufgehoben werden. Danach beziehen sich die statistischen Untersuchungen *v. Seeligers* und *Kapteyns* auf den näheren Bereich der Sonne, der ein in sich geschlossenes System (das lokale System) bildet. Die Sternabzählungen im Milchstraßensystem gehen zwar teilweise über dieses Gebiet hinaus, an anderen Stellen aber reichen sie infolge der vorgelagerten dunklen Nebelmassen<sup>4)</sup> nicht bis an dessen Grenze; die bei den statistischen Untersuchungen gebildeten Mittelwerte scheinen gerade etwa den Bereich des lokalen Systems erfaßt zu haben.

Neben das lokale System treten nun die Milchstraßenwolken als gleichgeordnete Systeme; wie jenes sind sie ihrem Aufbau nach den offenen Sternhaufen ähnlich. Die helle Cygnuswolke z. B. wäre ein unserem lokalen System unmittelbar benachbartes Teilsystem. Alle diese Systeme schließen sich zum gesamten Milchstraßensystem zusammen, dessen Gleichsetzung mit einem Spiralnebel zum mindesten als eine gute Arbeits-

hypothese anzusehen ist. Die einzelnen Teilsysteme entsprächen den Knoten des Spiralnebels. Welchen Platz unser lokales System innerhalb des ganzen Systems einnimmt, darüber fehlt noch jeder Anhaltspunkt.

Durch diese Auffassung ist auch eine Untersuchung von *F. H. Seares*, über welche früher berichtet worden ist<sup>5)</sup>, einfach zu deuten. *Seares* hat die Gesamthelligkeit bestimmt, die das Kapteynsche Sternsystem zeigen müßte, wenn man es von großer Entfernung außerhalb betrachtet. Unter der Annahme, daß dieses System mit dem gesamten Milchstraßensystem identisch ist, könnte man letzteres nicht als typischen Spiralnebel auffassen. Fällt nun aber das Kapteynsche System lediglich mit dem lokalen zusammen, so ist der von *Seares* bestimmte starke Helligkeitsabfall nach außen wohl mit der Annahme vereinbar, daß das Milchstraßensystem im ganzen die Struktur eines Spiralnebels besitzt.

Heidelberg-Königstuhl, 21. März 1922.

A. Kopff.

### Physiologische Mitteilungen.

(Aus den Berichten über die gesamte Physiologie und experimentelle Pharmakologie.)

Über den Sitz des Geruchsinnes bei Insekten. (von *Frisch*, *Karl*, Zool. Jahrb., Abt. f. allg. Zool. u. Physiol. der Tiere Bd. 38, H. 4, S. 449—516, 1921.) Die Frage nach dem Sitz des Geruchsinnes bei den Insekten hat wiederholt zu heftigen Kontroversen geführt. Noch in jüngster Zeit hat eine neue Lehre *Mc Indoo's*, wonach bei Bienen und anderen Insekten die Geruchsorgane an den Flügeln und Beinen lokalisiert sind, Glauben gefunden. Demgegenüber läßt sich der Nachweis führen, daß die Fühler der Bienen die Träger ihrer Geruchsorgane sind. Es wurden einzelne, gezeichnete Bienen auf einen Duft dressiert. Sie finden dann bei entsprechender Versuchsanordnung unter verschiedenen dargebotenen Düften den Dressurduft mit Sicherheit heraus. Schneidet man ihnen beide Fühler ab, so sind sie völlig außerstande, den Dressurduft von anderen Düften zu unterscheiden. Daß diese Unfähigkeit nicht etwa auf den Eingriff als solchen (Schockwirkung) zurückzuführen ist, läßt sich durch einen einfachen Kontrollversuch zeigen: Führt man genau dieselbe Operation an Bienen aus, die auf eine Farbe dressiert wurden, so unterscheiden sie nach der Operation die Dressurfarbe von anderen Farben genau so sicher wie zuvor. Das Resultat wird noch durch eine Reihe anderer Beobachtungen und Experimente gestützt und gesichert, und es läßt sich des weiteren sehr wahrscheinlich machen, daß die Geruchsorgane der Bienen ausschließlich an den Fühlern sitzen: Jede Fühlergeißel besteht aus 11 Gliedern, von denen aber nur die 8 distalen Glieder Sinnesorgane tragen, die als Organe des Geruchsinnes in Betracht kommen. Schneidet man nun einer duftdressierten Biene 15 Fühlerglieder ab (einerseits 8, anderseits 7), so daß sie nur ein mit Sinnesorganen besetztes Fühlerglied behält, so vermag sie Düfte noch zu unterscheiden. Nimmt man ihr noch dieses eine, mit Sinnesorganen versehene Fühlerglied, so ist sie zur Duftunterscheidung außerstande; sollten also an anderen Körperstellen als an den Fühlern Geruchsorgane sitzen, so müßten sie daselbst so spärlich sein, daß

<sup>1)</sup> Vgl. „Die Naturwissenschaften“ 9. Jahrg., 1921, S. 1022.

<sup>2)</sup> Vgl. „Die Naturwissenschaften“ 9. Jahrg., 1921, S. 769.

<sup>3)</sup> Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands Nr. 8.

<sup>4)</sup> Vgl. „Die Naturwissenschaften“ 9. Jahrg., 1921, S. 935, und 10. Jahrg., 1922, S. 7.

<sup>5)</sup> Vgl. „Die Naturwissenschaften“ 9. Jahrg., 1921, S. 88.



ihre Bedeutung von den Geruchsorganen eines einzigen Fühlergliedes vollständig in den Schatten gestellt wird. — Es folgt eine histologische Untersuchung der Sinnesorgane des Bienenfühlers und der Nachweis, daß die vielumstrittenen „Porenplatten“ des Bienenfühlers Geruchsorgane sind.

K. v. Frisch, Rostock.

**Anophelesplage und Kaninchenzucht.** (Jean Legendre, Cpt. rend. hebdom. des séances de l'acad. des sciences Bd. 173, Nr. 15, S. 600 bis 602, 1921.) Die Beobachtungen des Verf. schließen sich an frühere über dieses Thema an (Berichte über die ges. Physiologie 8, 27). Erneut wird nachgewiesen, daß die Lebensgewohnheiten von *Anoph. mac.* in Südfrankreich in bezug auf Nahrung und Aufenthaltsorte die gleichen während des ganzen Jahres sind: Die Kaninchenställe werden fast ganz ausschließlich von den Völlinsekten als Wohnorte auserwählt. Obwohl die Kaninchenställe alle von *Anopheles* voll sind, dringen letztere kaum in die menschlichen Wohnungen ein. Normalerweise ernährt sich *Anopheles* in diesen Gegenden von Kaninchenblut; werden die Kaninchen entfernt, so verschwinden die Mücken, selbst dann, wenn Menschen und andere Tiere noch vorhanden sind. Umgekehrt bilden die Kaninchenställe direkt einen Anziehungspunkt für *Anopheles*. — Infolgedessen schlägt Verf. vor, zur Bekämpfung von Malaria Kaninchenzuchten einzurichten, als eine gewisse Defensivmaßnahme. Indem man den Mücken eine Ernährungsgelegenheit (eben Kaninchenblut) und Wohngelegenheit bietet, die sie entschieden vorziehen, lenkt man sie von den Menschen ab. Natürlich muß damit Hand in Hand eine Offensivmaßnahme gehen, die Bekämpfung der Brut. Inwieweit diese *biologische Bekämpfung der Malaria* durchführbar ist, muß natürlich von Fall zu Fall entschieden werden. Die geschilderten Verhältnisse gelten zunächst für Südfrankreich.

Albrecht Hase, Berlin-Dahlem.

**Gewöhnung an Arzneimittel und Gifte.** (W. E. Dixon, British med. journ. Nr. 3177, S. 819—822, 1921.) Vortrag über Gewöhnung an Tabak, Opium, Heroin, Cocain, Haschisch und Alkohol. Verf. hält die bei starken Zigarettenrauchern oft auftretenden Erscheinungen von Schwindelgefühl, Tremor, Nausea, Anämie und Gedächtnisschwäche für chronische Kohlenoxydvergiftung. Im Blute eines Mannes, der 20 Zigaretten täglich raucht, finden sich etwa 5 % CO. Die Verbreitung des Mißbrauchs von Genußmitteln hängt ab von der Sensibilität des Nervensystems der verschiedenen Völker. Einen Anhaltspunkt für diese Empfindlichkeit liefert die Zahl der Frauen, die bei normalen Geburten Betäubungsmittel verwenden (Vereinigte Staaten 70, Großbritannien 50, Spanien und Rußland 5 %). Eine Opiumpeife enthält durchschnittlich 3 mg Morphin, 10 Pfeifen  $\frac{1}{2}$  Grain (0,03 g). Hiervon wird der größere Teil beim Rauchen zerstört. Es ist also beim Rauchen viel weniger Morphin vorhanden wie in den meisten Fällen von gewohnheitsmäßiger Morphiumeinspritzung. Nach ärztlicher Statistik kommen für New York etwa 8000 Fälle von Gewöhnung an Gifte im Laufe von 10 Monaten zur Beobachtung. Die Schwierigkeit, Alkohol zu bekommen, verführt dort das Volk zu Versuchen mit anderen „anregenden“ Stoffen. Verf. vergleicht das Delirium tremens mit dem Verhalten eines Morphinisten im Morphiumhunger. Die Entziehungssymptome beruhen darauf, daß „Nervenzellen nach dauernder Narkose beim Wiedererwachen übererregbar sind“. Beim Morphin entsprechen die Entziehungserscheinungen fast

völlig der Reizung derjenigen Gewebe, die Morphin in medizinischen Dosen lähmt. Der Gebrauch von Heroin, das leichter als Morphin zu erhalten ist, ist seit 1912 in Amerika in ständiger Zunahme. Die Gewöhnung an Arzneimittel ist in den Vereinigten Staaten Gegenstand ernster Sorge. Schon vor dem Kriege wurde die Zahl der an Arzneimittel und Gifte gewöhnten Personen auf 175 000 geschätzt. Verf. wendet sich gegen die Einführung des Alkoholverbots in England.

Flury, Würzburg.

**Die Grenzen der Mendelschen Vererbung.** (Heinrich Prell, Zeitschr. f. indukt. Abstammungs- u. Vererbungslehre Bd. 27, H. 1, S. 65—75, 1921.) Mendel hat aus seinen Versuchsergebnissen mit Pisum eine Reihe von Leitsätzen abgeleitet, welche die Grundlage der nach ihm benannten Vererbungsweise bilden. Die scharfe Präzisierung seiner Resultate und ihre Fassung in kurzen Gesetzen oder Regeln hat er unterlassen. Erst die Wiederentdecker und Ausgestalter seines Werkes haben diese Lücke auszufüllen gesucht. Gewöhnlich werden jetzt folgende Sätze als wichtig für die Mendelsche Vererbung bezeichnet: 1. Die *Spaltungsregel*. Sie betrifft das Verhalten der Faktoren innerhalb der allelomorphen Anlagenpaare bei der Gametenbildung. Die korrespondierenden Anlagen, die sich bei der Entstehung des Bastards vereinigt hatten, werden nämlich bei der Gametenbildung wieder getrennt, worauf die Keimzellen des Bastards zur Hälfte die Anlage für das Merkmal des einen Elters, zur Hälfte diejenige für das Merkmal des anderen Elters erhalten. 2. Die *Unabhängigkeitsregel* besagt, daß konstante Merkmale auf dem Wege der Bastardierung in alle Verbindungen treten können, welche nach den Regeln der Kombination möglich sind. 3. Die *Uniformitätsregel*. Die erste Bastardgeneration ist gleichartig. 4. Die *Dominanzregel*. De Vries drückt die Regel wie folgt aus: „Von den beiden antagonistischen Eigenschaften trägt der Bastard stets nur die eine, und zwar in voller Ausbildung. Er ist somit von einem der beiden Eltern „in diesem Punkt nicht zu unterscheiden“. 5. Die *Aquiproportionalitätsregel* ist von ganz besonderer Wichtigkeit. Schon Mendel hat darauf hingewiesen, daß Erbsenbastarde Gameten bilden, „welche ihrer Beschaffenheit nach in gleicher Anzahl allen konstanten Formen entsprechen, welche aus der Kombinierung der durch Befruchtung vereinigten Merkmale hervorgehen“. D. h. mit anderen Worten, daß Hybriden ihre verschiedenen Gameten stets in gleicher Anzahl ausbilden. — Autor untersucht nun die Bedeutung dieser Regeln für die Mendelsche Vererbung. Bei der Dominanz handelt es sich nur um den Charakter des Verhaltens einer beschränkten Gruppe von Spezialfällen. Scheinbar völlige Dominanz beruht häufig nur auf unserem mangelnden Unterscheidungsvermögen. Von einer Gesetzmäßigkeit bei der Erscheinung der Dominanz kann daher nicht die Rede sein. Außerdem beschäftigt sich die Dominanzregel nur mit der Qualität von Merkmalen, nicht mit der Verteilung von Anlagen. Die Uniformitätsregel, die gar nicht von Mendel aufgestellt wurde, ist nicht von allgemeiner Bedeutung. Sie gilt nur bei Kreuzungen homozygoter Individuen und versagt grundsätzlich bei Kreuzungen heterozygoter Individuen unter sich oder mit homozygoten. Ähnlich wie bei der Dominanzregel beschäftigt sich die Uniformitätsregel mit dem Verhalten von Merkmalen und nicht von Anlagen und ist daher im Grunde genommen gar keine Vererbungsregel. Die beiden letztgenannten Regeln müssen daher als „Mendelsche“ ausgeschieden



werden, weil sie nicht das Wesen der Sache betreffen. Da also die drei übrigen von ausschlaggebender Bedeutung sind, wird die Definition der Mendelschen Vererbung heißen müssen: „Mendeln heißt, der Spaltungsregel, der Unabhängigkeitsregel und der Äquiproportionalitätsregel folgen“, oder: „Der Mendelschen Vererbung folgen heißt, vererben unter Wahrung äquiproportionaler Gametenbildung“. *Taube, Heidelberg.*

**Beweise für das Vorhandensein gesunder Träger des Encephalitisvirus.** (*C. Levaditi, P. Harvier und S. Nicolau, Cpt. rend. des séances de la. soc. de biol. Bd. 85, Nr. 23, S. 161—166, 1921.*) In einer früheren Veröffentlichung haben die Autoren gezeigt, daß im normalen Speichel ein Virus vorkommt, das beim Kaninchen eine Keratoconjunctivitis erzeugt, die von tödlich verlaufender, akuter Encephalitis gefolgt ist. Es sollten nun untersucht werden: 1. die Beziehungen zwischen dem Speichelvirus und dem der epidemischen Encephalitis einerseits und dem des Herpes labialis andererseits; 2. der Zusammenhang zwischen der Virulenz des Speichels gesunder Personen und ihrer etwaigen Rolle als Virusträger der epidemischen Encephalitis.

Versuche: Zu den Infektionsversuchen wurde Speichel benutzt von einer völlig gesunden Person, die selbst nie an Encephalitis gelitten hatte, aber häufig mit Encephalitiskranken in Berührung gekommen war. Der Speichel wurde teils ohne Vorbehandlung, teils nach Zentrifugieren und Filtration durch Chamberlandkerze Nr. 1 bzw. Nr. 3 verwendet. Die Inokulationsversuche mit unfiltriertem sowie mit filtriertem Speichel an der Kaninchencornea fielen sämtlich (4 Tiere) positiv aus; ein Tier wurde schwer krank, wurde getötet und wies encephalitische Herde im Gehirn auf. Von diesem Tiermaterial ausgehend, wurden zweierlei Passagen ausgeführt: a) durch Cornealinfection, b) durch Cerebralinfection. Das Virus hat sich bisher in 12 cornealen und 11 cerebralen Passagen unverändert wirksam erwiesen; der Tod der Tiere trat nach 8 bzw. 4—5 Tagen ein; sämtliche Tiere wiesen Gehirnveränderungen auf, wie sie für Infektion mit dem Virus der echten Encephalitis typisch sind. — Das Cerebralpassagenvirus behält seine Keratoconjunctivitis erzeugende Fähigkeit ebenso wie das durch corneale Übertragungen weitergezüchtete Virus Encephalitiserscheinungen macht.

Das Speichelvirus ist filtrierbar. Das Gehirn eines an Speichelvirusinfektion verendeten Kaninchens wird aufgeschwemmt durch Chamberlandkerze Nr. 1 filtriert; sowohl die mit dem Filtrat ausgeführte cerebrale wie auch die corneale Infektion führt bei beiden Kaninchen zum Tode unter typischen Erscheinungen. Die Vorbehandlung mit Speichelvirus schützt gegen Nachinfektion mit echtem Encephalitisvirus. Durch die Gesamtzahl der geschilderten Versuche ist die völlige Identität des von der gesunden Versuchsperson stammenden Speichelvirus mit dem echten Encephalitisvirus bewiesen. *von Gutfeld, Berlin.*

**Untersuchungen über die spontane Spirochätose des Kaninchens.** (*C. Levaditi, A. Marie und Isaïcu, Cpt. rend. des séances de la. soc. de biol. Bd. 85, S. 51—54, 1921.*) Auch in Frankreich ist die Spirochätose des Kaninchens mit all den bisher noch nicht unterscheidbaren Ähnlichkeiten mit der Impfsyphilis beobachtet worden. *Levaditi, Marie und Isaïcu* fanden dieselbe leichte Übertragbarkeit durch experimentelle Impfung und durch Coitus wie die anderen Autoren, aber auch

Übertragung von einem Kaninchen auf andere Berührung als die sexuelle. Übertragung auf den Menschen gelang nicht. Histologisch bestand Vakuolenbildung um die Kerne der Epithelzellen, sehr starke mitotische Kernteilung in der Basalschicht der Epidermis, sehr starke Infiltration von polynucleären Zellen nahe dem stark gewucherten Epithel, Hineinwandern von polynucleären Zellen zwischen die Retezellen und ihre Anhäufung zu kleinen Abscessen im Rete. Außer den polynucleären Zellen liegen in den Cutispapillen massenhaft Lymphocyten und Plasmazellen. Die Hauptveränderungen entzündlicher Natur finden sich um die Haarfollikel herum. Das ganze Gebiet der histologischen Veränderung in Epithel und in Cutis ist von dichten Spirochätenmassen erfüllt, die aus den Haarfollikeln herausdrängen. Wahrscheinlich dringen die Spirochäten auch in die Haarfollikel von außen hinein, und ist dies der Weg der Ansteckung.

*Pinkus, Berlin.*

**Über die durch das doppeläugige Sehen bewirkte Vergrößerung und ihre Rolle bei der Tiefenwahrnehmung.** (*L. Bard, Arch. d'ophtalmol. Bd. 38, Nr. 9, S. 513—523, 1921.*) Wenn man irgendeinen Gegenstand einäugig betrachtet, so erscheint er kleiner, bei Rückkehr zu doppeläugiger Betrachtung größer; gleichzeitig ist er im ersten Fall scheinbar ferner als im zweiten. Die Vergrößerung betrifft alle drei Raumdimensionen. Die Beobachtung hängt von der Konvergenz der Augen ab, fällt aus bei parallelen Augenachsen, hat aber nichts mit der Akkommodation zu tun. Eine kinästhetische oder psychologische Erklärung dieser Vergrößerung durch das doppeläugige Sehen lehnt Verf. ab. Nach seiner Ansicht kommt es bei Konvergenz nicht zu einer genauen Abbildung auf Deckstellen der Netzhäute; es finde bei der Verschmelzung im Gehirn keine eigentliche Fusion, sondern eine Übereinanderlagerung der Teilbilder statt, mit Vorragen der äußeren Ränder; hierdurch komme eine Vergrößerung zustande ähnlich wie die Erweiterung des binokularen Gesichtsfeldes durch die monokularen temporalen Sichel. Beweisend für diese Auffassung sei folgendes: Wenn man einen Gegenstand abwechselnd mit jedem Auge ansieht, so scheint er sich bei Fixation mit dem rechten Auge nach links, bei Fixation mit dem linken Auge nach rechts zu verschieben. Bei doppeläugiger Fixation käme es also zu einer leichten Abweichung der beiden Augenachsen, für jedes Einzelaug in entgegengesetztem Sinn, und damit zu einem Vorragen der seitlichen Bildränder, der angenommenen Ursache der Vergrößerung beim Binokularsehen. In ähnlicher Weise komme es auch nach der dritten Raumdimension, nach der Tiefe, zu einer Vergrößerung durch das Sehen mit beiden Augen. Voraussetzung zu dieser Erklärung ist die Annahme monokularen Tiefen- und Entfernungssehens, für das nach Verf. die Grundlage gegeben ist in der dreidimensionalen Ausdehnung des Bildes in der Empfangsschicht der Netzhaut, wozu deren Dicke von 50—60  $\mu$  ausreicht (!). Die Vergrößerung nach der Tiefe komme dann ebenso wie diejenige nach Breite und Höhe durch die Abweichung der beiden monokularen Bilder voneinander zustande. Verf. verteidigt seine Annahme gegenüber dem möglichen Vorwurf, daß sie nicht mathematisch-rechnerisch zu prüfen sei, „weil kein Instrument genau genug arbeite, um die feinen Unterschiede festzustellen, welche unsere Sinnesorgane empfinden können“.

*Best, Dresden.*



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

LIBRARY  
RECEIVED

JUN 26 1922

Heft 19. (Seite 457—472)

12. Mai 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Neuere Ergebnisse der Gliedmaßenpfropfungen:  
Umwandlung eines rechten Beines in ein linkes.  
Von *Hermann Braus*, Würzburg. (Mit 14 Abbildungen.) S. 457.

Röntgenspektren und chemische Valenz. Von  
*Gregor Wentzel*, München. S. 464.

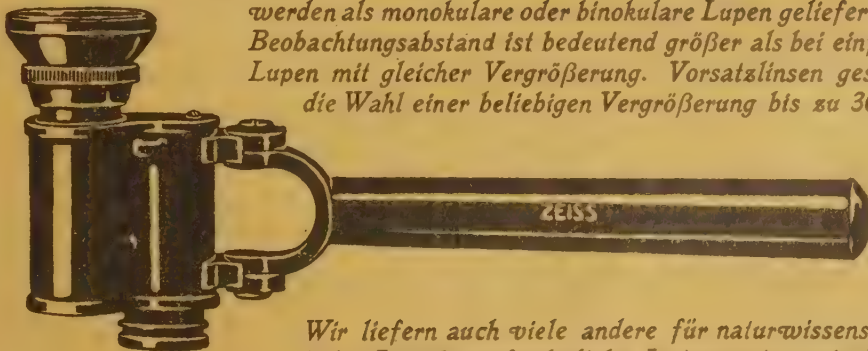
Besprechungen:  
Lorenz, Richard, Raumerfüllung und Ionenbeweglichkeit. Von *A. Magnus*, Tübingen. S. 468.  
Dessau, Bernhard, Lehrbuch der Physik. 1. Band. Von *W. Westphal*, Berlin. S. 469.

Förster, Fritz, Elektrochemie wässriger Lösungen. Dritte Auflage. Von *Alfred Coehn*, Göttingen. S. 469.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:  
Über Ozon. Von *E. H. Riesenfeld* und *G. M. Schwab*, Berlin. S. 470.

Astronomische Mitteilungen. S. 471—472.  
Die Beziehung zwischen der absoluten Helligkeit von Fixsternen und deren räumlicher Geschwindigkeit. Das lokale System und die Sterne der Spektralklasse A. Kosmische Absorption und Dispersion des Lichtes.

## ZEISS Fernrohr-Lupen



werden als monokulare oder binokulare Lupen geliefert. Der Beobachtungsabstand ist bedeutend größer als bei einfachen Lupen mit gleicher Vergrößerung. Vorsatzlinsen gestatten die Wahl einer beliebigen Vergrößerung bis zu 30 fach.

Wir liefern auch viele andere für naturwissenschaftliche Zwecke erforderliche Instrumente, wie Mikroskope, Einschlaglupen usw.

Druckschriften und  
Auskunft durch:

**CARL ZEISS, JENA**

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 60.— für das zweite Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 6.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.

Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.

Postscheck für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 2020 Julius Springer,

für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius

Konten: Springer.

Man verlange  
Listen!



### Projektions-Apparate Liesegang

Hochkerziges

## Globoscop

entwirft scharfe, helle Lichtbilder nach jedem Papierbild. An jede elektrische Lichtleitung anzuschließen.

Neue große Lichtbilder-Sammlung  
aus allen Gebieten  
für Lehr- und Vortragszwecke!

Ed. Liesegang, Düsseldorf  
Brieffach 124

## Voigt & Hochgesang Göttingen

Fabrik f. Dünnschliffe,  
Kristallpräparate von  
eigenem, sowie von  
geliefertem Material. (260)

Schul- und Studiensammlungen von ersten  
Fachleuten der Wissenschaft zusammengestellt.  
Kataloge stehen kostenfrei zur Verfügung.

## Mineralien, Kristalle und Gesteine

einzeln und in ganzen Sammlungen.

Spez.: Vogtl. u. sächs. Vorkommen, sowie Graptolithen  
offert preiswert und in reicher Auswahl

Mineralien-Niederlage A. Jahn

Plauen i. V., Oberer Graben 9 (259)

In unserem Verlage ist soeben erschienen:

Ueber die Darstellung des periodischen  
Systems der chemischen Elemente  
mittels harmonischer Schwingungen.

Von Professor Karl Fehrle, Freiburg i. Br.

Mit 5 graphischen Darstellungen und der voll-  
ständigen Tabelle der Fourieranalyse der Restkurve.

48 Seiten. 8°. 1922. Preis M. 15.—. (284)

Verlag der Freiburger Druck- und Verlagsgesellschaft  
H. M. Muth, m. b. H., Freiburg i. Br.

Die Anschaffung des

(258)

## Handwörterbuchs der Naturwissenschaften



10 Bände in Halbleder 5000 M., Auslandspreis 15 000 M.,  
erleichtert durch Verteilung des Betrages  
auf mehrere Jahre oder Amortisation in 10%  
Monatsraten. Das Werk wird sofort voll-  
ständig geliefert.

H. Meusser, Buchhandlung  
Berlin W 57/9, Potsdamer Straße 75

## Valenzkräfte und Röntgenspektren.

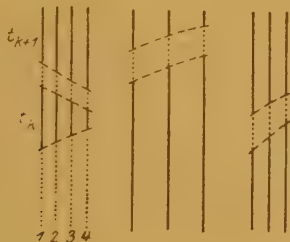
Zwei Aufsätze über das  
Elektronengebäude des Atoms. Von Dr. W. Kossel, o. Professor an der Uni-  
versität Kiel. Mit 11 Abbildungen. (IV, 70 S.) 1921. (Verlag von Julius Springer in Berlin W 9)

Preis M. 12.— (u. Teuerungszuschlag)



### Berichtigung.

In dem Aufsatz **Der mathematische Kern der Außenweltshypothese** von Karl Gerhards in Heft 17 ist auf S. 429 in der Fig. 2, die aus drei Strängen bestehen soll, versehentlich der erste weggefallen, der nachher in Heft 18 S. 418 die Fig. 7 bildet. Die Fig. 2 ist also durch folgende zu ersetzen:







## Neuere Ergebnisse der Gliedermaßenpflropfungen: Umwandlung eines rechten Beines in ein linkes.

Von Hermann Braus, Würzburg.

Daß es möglich ist, Gliedermaßen bei Amphibien zu überpfropfen, ist jetzt schon seit fast 20 Jahren bekannt. Bei diesen Tieren ist im Embryonalstadium die Gliedermaße zuerst als ein kleines Knötchen sichtbar, welches wie die Knospe einer Pflanze in sich die Fähigkeiten enthält, alles Endgültige zu erzeugen. Indem man es aus seiner natürlichen Umgebung herauslöst und auf irgendeine andere Stelle des Körpers verpflanzt, erreicht man, wie bei dem Okulieren der Gärtner, daß aus dem Transplantat eine Gliedermaße am fremden Ort hervorwächst. An einem Ort, an welchem sonst keine Gliedermaße entsteht, kann so experimentell eine überzählige Gliedermaße zustande kommen. Auf diese Weise kann man Tiere züchten, welche mehr Gliedermaßen besitzen als die gewöhnlichen vier bei den Wirbeltieren, nämlich fünf, sechs oder mehr, oder man kann die üblichen vier Gliedermaßen austauschen, so daß statt zwei Armen und zwei Beinen drei Arme und ein Bein oder andere derartige Kombinationen entstehen.

Schon bei den ersten Gliedermaßenpflropfungen hat sich herausgestellt, daß aus der Knospe einer vorderen Extremität, welche man dem üblichen Standort entnimmt und auf eine andere Körperstelle verpflanzt, mit Sicherheit eine Vordergliedermaße, d. h. ein Arm entsteht, auch wenn sie an die Stelle etwa der hinteren Extremität verpflanzt wird. Ja es ist möglich, sie auf den Oberschenkel einer sich entwickelnden hinteren Extremität zu verpflanzen, trotzdem wird aus ihr ein Vorderbein. Bei den Amphibien kann man leicht beide Extremitäten voneinander unterscheiden, weil die vordere Gliedermaße 4 und die hintere 5 Finger bzw. Zehen besitzt. Infolgedessen kann man ganz früh, wenn die ersten Fingeranlagen soeben sichtbar werden, bereits erkennen, ob es sich um die eine oder andere Art von Gliedermaßen handelt. Ein solches System, welches alle Eigenschaften zu der späteren Entwicklung in sich trägt, nennt man ein Selbstdifferenzierungssystem<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Bei anuren Amphibien (Bombinator) gelingt es, solche Extremitätenknospen auch auf dem Kopfe eines Tieres zur Entwicklung zu bringen und so z. B. eine Knospe zu einer vorderen Extremität neben dem Auge oder auf der Schnauze aufwachsen zu lassen. Es scheint dies bei Urodelen nicht so einfach zu gehen, wenigstens hat Harrison keine so weitgehende Entwicklung auf dem Kopf beobachten können. — Was die

Seit dem Jahre 1915 ist in Amerika eine Reihe von höchst bedeutungsvollen Arbeiten erschienen, welche sich alle mit Gliedermaßenpflropfungen beschäftigen, und welche zu Ergebnissen geführt haben, deren Tragweite über das spezielle Gebiet der Gliedermaßenentwicklung selbst weit hinausreicht. Diese Arbeiten stammen von R. G. Harrison und seiner Schule<sup>2)</sup>. Es soll hier über dieselben berichtet werden, zumal es heutzutage noch schwierig sein dürfte, die amerikanische Literatur — besonders diejenigen Zeitschriften, welche während der Jahre erschienen sind, in denen wir im Krieg mit Amerika standen — in Deutschland zu Gesicht zu bekommen.

### Selbstdifferenzierung und abhängige Differenzierung.

Die Amerikaner haben als Material für ihre Versuche ein urodeles Amphib, *Amblystoma punctatum*, benutzt, während die bisher bei uns vorgenommenen Gliedermaßenpflropfungen sämtlich an Anuren (Fröschen, Unken oder anderen froschartigen Tieren) vorgenommen worden waren. Bei den Urodelen ist die Extremität von vornherein auf der Oberfläche des Körpers gelegen; ihre Anlage wird nicht von einem Operculum wie bei den Anuren überwachsen und dadurch nicht wie bei diesen in die Tiefe versenkt. Es ist infolgedessen die Anlage leichter zugänglich.

Zunächst gelang es Detwiler, einem Schüler Harrisons, die Transplantationen sehr viel weiter in der Entwicklung zurückzuverlegen, nämlich so weit, daß schließlich bereits in dem Stadium der noch offenen Medullarplatte die Stelle ermittelt werden konnte, an welcher sich später die Ex-

Fähigkeit der Selbstdifferenzierung angeht, so ist dieselbe von mir in einer Veröffentlichung vom Jahre 1903 an zum ersten Male ausgeführten Gliedermaßenpflropfungen gleich im vollen Umfang festgestellt worden. Banchi, von welchem Harrison sagt, daß er meine Untersuchungen „independently“ bestätigt habe, kannte tatsächlich die Ergebnisse meiner Untersuchungen bereits aus einem Referat von Goeppert, als er seine eigenen Experimente begann (Anatomischer Anzeiger Bd. 28, 1906, S. 366). Detwiler zitiert unsere Arbeiten so: Banchi 1905, Braus 1905, Harrison 1907 (Journ. exp. Zool. Vol. 25, S. 499). In meiner Arbeit von 1903 und 1904 (Münchener med. Wochenschrift, Verh. anat. Ges. Jena 1904) ist bereits das wesentlichste Resultat von Banchi vorweggenommen, nämlich der Nachweis, daß auch die Knospe einer hinteren Extremität aus sich eine hintere Gliedermaße und nichts anderes hervorgehen läßt.

<sup>2)</sup> Siehe Harrison, Journal experim. Zoology Vol. 4, 25, 32; Proceed. Nat. Acad. Science Vol. 1, 3; Anat. Record Vol. 10, 11. Detwiler, Journ. experim. Zoology Vol. 25, 31; Proceed. Nat. Acad. Science Vol. 5, 6. Nicholas, Anat. Record Vol. 21, S. 74.

tremität äußerlich zeigt, und daß auch diese für die Gliedmaßenbildung vorbestimmte Stelle durch die Operation herausgehoben und verpflanzt werden konnte. Aus solchen ganz frühen, mit unseren optischen Mitteln als Anlagen von Gliedmaßen in keiner Weise erkennbaren Zellen ist bereits diejenige Extremität zu züchten, welche auch im normalen Geschehen aus dieser Stelle geworden wäre. Man kann eine solche Ansammlung von Zellen an eine beliebige Stelle des Körpers verpflanzen, immer wird, wenn sie von der Stelle einer vorderen Extremität stammt, daraus eine vordere Gliedmaße und nie eine andere. Es ist die Stelle in dem Augenblick, in welchem die Ursegmente auftauchen, dadurch charakterisiert, daß ihr Zentrum ventral von dem 4. Ursegment gelegen ist, und zwar entspricht sie im ganzen  $3\frac{1}{2}$  Segmenten (Fig. 1b). Bei dem Stadium der offenen Medullarplatte ist man auf Versuche angewiesen, die darauf hinauslaufen, durch einen Zufall die Stelle zu treffen, an welcher sich die Anlagezellen für die Gliedmaße befinden. Daß es sich tatsächlich um die Stelle handelt, welche später mit ihrem Zentrum dem 4. Ursegment entspricht, ist von *Detwiler* dadurch festgestellt worden, daß er ein entsprechendes Stückchen einer mit Nilblau vital gefärbten Larve in die betreffende Stelle einsetzte, von welcher die präsumptive Gliedmaßenanlage entnommen war; beim weiteren Wachstum überzeugte er sich, daß



Fig. 1. Junge Keime von *Amblystoma* mit implantierter Marke (mit Nilblau vital gefärbtes Stück einer anderen Larve). Nach *Detwiler*.

dieselbe den genannten Ursegmenten entspricht (Fig. 1a, b). *Harrison* selbst hat wesentlich mit älteren Stadien gearbeitet, und zwar mit solchen, bei welchen die Anlage des Schwanzes gerade erst als kleine Knospe sichtbar ist. In diesen Stadien sind die Ursegmente deutlich zu erkennen, und es ist infolgedessen ohne weiteres die Stelle zu begrenzen, an welcher die Extremität sich entwickeln wird. Aber auch in diesen Stadien ist äußerlich von einer solchen Extremität noch gar nichts zu erkennen. Die Knospe wird erst später an der Stelle sichtbar, auf welche man die präsumptive Extremitätenanlage verpflanzt hat. Daß es sich bei diesen Begrenzungen der experimentell ermittelten, mikroskopisch unsichtbaren Extremitätenanlage nicht um ganz scharf gezogene Linien handelt, hat sich wie bei anderen Organanlagen (Auge, Ohr, Kiemen) so auch bei den Gliedmaßen ergeben. Man muß sich vorstellen, daß die Anlage aus einem Zentrum besteht, in welchem die Intensität der Extremitätenbildung am stärksten lokalisiert ist

und daß von da aus *allmählich* die Potenz des Materiales abnimmt. Von der Grenze aus, welche durch den Durchmesser von  $3\frac{1}{2}$  Urwirbeln bestimmt ist, findet man bei Embryonen, bei welchen die gewöhnlich zur Gliedmaßenbildung benutzte Stelle entfernt worden ist, ein Nachrücken von Material, also ein Nachschieben von Zellen, welche gewöhnlich nicht zur Gliedmaßenbildung benutzt werden. Erreichen diese Zellen die für die Gliedmaßenentstehung übliche Stelle, so sind sie imstande, eine Gliedmaße zu regenerieren. Aber diese Fähigkeit erlischt in einem Abstände, und Zellen, welche von weiter her an die Stelle der Gliedmaßenbildung gebracht werden, nachdem das eigentliche Material entfernt worden ist, sind nicht mehr imstande, eine Gliedmaße zu erzeugen. Solche Intensitätszentren, von denen sich die Fähigkeit, ein Organ zu bilden, allmählich bis zu einer Nullgrenze ausbreitet, sind für die meisten Organanlagen am Kopf nachgewiesen; sie überdecken sich gegenseitig mit den Rändern.

Ist also durch die bisher beschriebenen Befunde festgestellt, daß das Selbstdifferenzierungsvermögen der Gliedmaßen bereits außerordentlich früh festgelegt ist, so hat sich doch eine über-

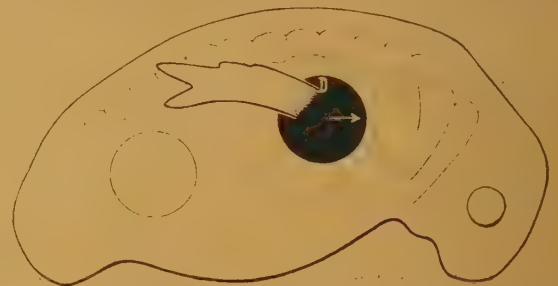


Fig. 2. Modell einer *Amblystoma*larve. Rechte Körperseite. Rechte vordere Extremität: schwarze Scheibe und ausgezogener schwarzer Kontur. Rechte hintere Extremität durch dünn gezeichneten Kreis markiert.

raschende Tatsache ergeben, nämlich die Möglichkeit, eine Gliedmaße nachträglich zu veranlassen, daß sie eine rechts- oder linksseitige wird. *Harrison* hat durch eine sehr eindringende und bewundernswerte Analyse der von ihm erhaltenen Befunde nicht nur die Möglichkeit in die Hand bekommen, beliebig aus einer rechten Gliedmaße eine linke oder umgekehrt aus einer linken eine rechte zu machen, sondern er hat auch in sehr überzeugender Weise die Wege klargelegt, auf welchen der Organismus in diese oder jene Richtung geleitet werden kann. Daraus ergeben sich weitere Konsequenzen, welche für die im Entwicklungsgeschehen gültigen Gesetze von weittragender Bedeutung sind.

Die Anlagen der vorderen und hinteren Extremität sind in meinem den Befunden *Harrisons* entsprechend hergestellten Modell durch bunte Scheiben wiedergegeben (Fig. 2). Aus der vorderen, hier mit schwarzer Farbe bezeichneten Scheibe würde bei einem Embryo, den man sich selbst überläßt, eine Extremität her-



vorwachsen, welche sich als vordere dadurch kennzeichnet, daß sie vier Fingeranlagen besitzt; in unserem Bilde sind zwei von diesen bereits deutlich herangewachsen, die beiden anderen sind in der ersten Anlage eben erkennbar. Die Extremität ist in einem Zustande abgebildet, in welchem auch bereits eine leichte Krümmung erkennbar ist, diese entspricht der Ellenbeuge. Außerdem würde man bei einem Querschnitt durch das Glied feststellen können, daß die dem Embryo benachbarte Seite (die spätere Palmarseite) dicker ist als die frei nach außen gewendete Seite. Es ist das Glied in das frühere Operationsstadium hineingezeichnet. Da der Embryo selbstverständlich zu der Zeit, zu welcher die Gliedmaße tatsächlich diese Größe und Form gewonnen hat, viel größer geworden ist, so steht die Extremität nicht in dem Größenmaßverhältnis zu der Larve im ganzen wie in unserem Bild. Es ist also die Größe und die Form der Gliedmaße eines späteren Stadiums gleichsam vorweggenommen, um zu zeigen, in welcher Richtung und in welcher Form die Extremität auswächst. An diesen Merkmalen können wir unterscheiden,

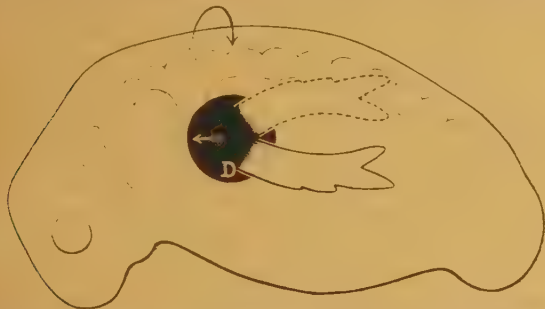


Fig. 3. Modell einer Amblystomalarve. Linke Körperseite. Rechte vordere Extremitätenanlage (schwarz) nach links verpflanzt. Das schließliche Resultat gestrichelt.

ob es sich um eine vordere Extremität, und ferner ob es sich um eine rechte oder um eine linke Extremität handelt. Eine linke Extremität (Fig. 5) wächst ebenfalls aus dem oberen hinteren Quadranten des Anlagematerials nach dem Rücken des Embryos und schwanzwärts aus, so daß beide Gliedmaßen, die rechte und die linke, sich wie Spiegelbilder zueinander verhalten. Wir zeichnen die rechte Scheibe schwarz und ihre Gliedmaße mit schwarzen ausgezogenen Konturen, die linke Scheibe schraffiert und ihre Gliedmaße mit gestricheltem Kontur.

Wenn man eine *rechte* Gliedmaßenanlage in dem Stadium, welches wir unseren Betrachtungen zugrunde legen, aus dem Tier heraus-schneidet und in der Richtung des in der Fig. 3 gezeichneten Pfeiles auf die Stelle der linken Körperseite verpflanzt, an welcher vorher die dort befindliche Anlage der normalen Linksextremität entfernt worden ist, so würde man bei reiner Selbstdifferenzierung erwarten müssen, daß an der Stelle der linken Extremität eine *rechte* ent-

stände in spiegelbildlicher Lage zu der orts-üblichen Linksextremität. Dieses Bild ist in Fig. 3 mit den Farben und Linien wiedergegeben wie in Fig. 1, d. h. die verpflanzte Extremitätsknospe mit schwarzer Farbe und die aus ihr zu erwartende Gliedmaße mit durchlaufenden schwarzen Konturen. Aber das Erwartete geschieht nicht, sondern es bildet sich aus dem verpflanzten Material eine Gliedmaße, welche in Fig. 3 mit gestricheltem Kontur eingezeichnet ist und welche, wie man sich durch den Vergleich mit Fig. 5 leicht überzeugen wird, einer *linken* Extremität entspricht. Eine solche Gliedmaße ist genau so gebildet wie diejenige, welche an der linken Seite des Tieres zu erwarten gewesen wäre, wenn überhaupt nicht operiert worden wäre. Und tatsächlich sehen solche Tiere, an welchen die entsprechende Operation ausgeführt worden ist, wenn man sie sich weiter entwickeln läßt, durchaus wie normale Tiere aus. In Fig. 4 ist eine Larve von Amblystoma abgebildet, welcher die Anlage einer *rechten* Extremität zwischen die beiden normalen linken Extremitäten eingepflanzt worden war und aus welcher sich eine durchaus typische *linke* Extremität entwickelt hat, obgleich dieselbe von der rechten Seite stammt, was man aus dem Bilde, ohne



Fig. 4. Amblystomalarve nach Harrison. Die mit \* bezeichnete Extremität war eine rechte; sie ist durch die Verpflanzung zu einer linken geworden (vgl. mit der am Ort verbliebenen vorderen Extremität).

das Protokoll zu kennen, nicht erschließen könnte. Der einzige Unterschied, welcher in der Entwicklung zu beobachten ist, ist der, daß nach der Operation eine gewisse Pause entsteht, bevor die Gliedmaße anfängt sich zu entwickeln, woraus geschlossen werden kann, daß diese Pause benutzt wird, um die innere Umgestaltung des Materials herbeizuführen, welche dann dazu führt, daß statt der erwarteten rechten eine linke Extremität zustande kommt. Der Experimentator ist also in diesem Falle in der Lage gewesen, aus rechts links zu machen. Entsprechend kann er aus links rechts machen, wenn er das Experiment mit entsprechenden Umänderungen ausführt.

Eine solche Gliedmaße, welche künstlich aus einer rechtsseitigen zu einer linksseitigen an dem Ort der betreffenden Gliedmaße gemacht worden ist (also Knospe einer vorderen Extremität an Stelle der Vordergliedmaße der anderen Körperseite), verhält sich auch in ihren Beziehungen zu dem Empfänger, welcher die Knospe inokuliert erhielt, durchaus wie eine normale Extremität.

Die Nerven und Gefäße, welche in die vordere Extremität hineingelangen, können genau in der gleichen Weise einwachsen, das Glied funktioniert in der Folge durchaus normal. Es besteht volle Harmonie zwischen Transplantat und Empfänger. Man könnte glauben, daß die Körperseite, auf welche verpflanzt worden ist, die Ursache dafür wäre, daß hier Linkes aus Rechtem entstanden ist. Aber dieser Schluß wäre unrichtig, wie sich sofort ergibt, wenn wir die Verpflanzung von rechts nach links nicht in der Richtung über den Rücken der Larve hinweg wie in Fig. 3, sondern in anderer Weise ausführen.

Entnahm *Harrison* eine rechte Gliedmaßenanlage einer Larve von *Amblystoma*, führte er sie vor dem Kopf hinweg in der Richtung des in Fig. 6 gezeichneten Pfeiles auf die linke Körperseite hinüber und pflanzte er sie an die Stelle der vorher entfernten Anlage der linken

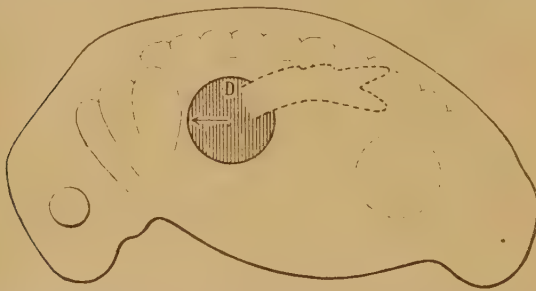


Fig. 5. Modell einer Amblystomalarve. Linke Körperseite. Linke vordere Extremität; schraffierte Scheibe und gestrichelter Kontur. Sonst wie Fig. 2.

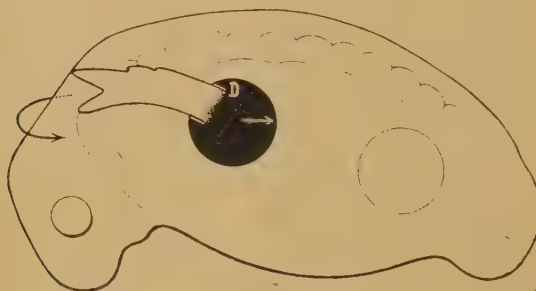


Fig. 6. Modell einer Amblystomalarve. Linke Körperseite. Rechte vordere Extremitätenanlage (schwarz) nach links verpflanzt.

vorderen Gliedmaße, so erhielt er ein ganz anderes Resultat, als dasjenige, welches wir bisher feststellen konnten. Bei voller Selbstdifferenzierung wäre zu erwarten, daß in diesem Falle aus der Extremität eine Gliedmaße entstände, wie die in Fig. 6 gezeichnete, d. h. eine rechte Gliedmaße, welche auf der linken Seite des Tieres so orientiert ist, daß sie nicht nach hinten, d. h. nach dem Schwanz des Tieres zu, sondern nach vorn, nach dem Kopf des Tieres zu, auswüchse. Dieses erwartete Resultat tritt auch tatsächlich ein. Dieser Fall widerlegt sofort die Meinung, daß die betreffende Körperseite, auf welche verpflanzt wird, etwa die Ursache wäre, daß aus rechts links wird. Denn in

diesem Falle bleibt die verpflanzte rechte Extremität eine rechte, sie steht nur disharmonisch zu ihrer Umgebung auf der linken Seite, indem sie ihre für die Anlagescheibe (schwarz) typisch nach hinten gerichtete Lage beibehält und infolgedessen an ihrem neuen Standort statt nach hinten nach vorne, nach dem Kopfe zu gerichtet ist. Wir verstehen unter disharmonischer Stellung, daß die Extremität sich zu ihrer Umgebung nicht in dem Zustande befindet, in welchem sie normalerweise steht und welcher ihr ermöglichen würde, sich koordiniert zu den anderen Gliedmaßen zu bewegen.

Da die Gliedmaßen ganz allgemein die Fähigkeit haben, sich spiegelbildlich zu verdoppeln, eine Eigenschaft, auf welche wir später zurückkommen haben, so wird in solchen Fällen, in welchen die Lage der Extremität disharmonisch ist, das Spiegelbild, das durch Verdoppelung hinzukommt, in eine günstigere Lage gebracht als das Original, d. h. die wirklich verpflanzte Anlage. Letztere hat in unserem Falle eine Gliedmaße erzeugt, welche nach vorn gerichtet ist (Fig. 6). Ihr Spiegelbild ist gerade entgegengesetzt nach hinten gerichtet, wie Fig. 7



Fig. 7. Modell einer spiegelbildlich verdoppelten Extremität von Amblystoma.

verdeutlicht (das Original mit dicker, das Spiegelbild mit dünner Konturlinie). Vergleichen wir Fig. 7, welche das Resultat einer Verdoppelung der von rechts nach links verpflanzten Vordergliedmaße vor Augen führt, mit der gewöhnlich auf der linken Seite hervorstwachsenden Extremität (Fig. 5), so sehen wir ohne weiteres ein, daß das Spiegelbild der normalen linken vorderen Gliedmaße durchaus entspricht. Es handelt sich aber in diesem Falle nicht um eine Gliedmaße, welche von einer rechten in eine linke verwandelt worden ist, sondern es handelt sich um das Spiegelbild einer rechten Gliedmaße auf der linken Körperseite. Wenn nun, wie es tatsächlich sehr häufig vorkommt, im Verlaufe der Entwicklung eine Verkümmern der originalen Gliedmaße eintritt, so daß schließlich von derselben nur noch ein kleines Überbleibsel zu erkennen ist, so kann in solchen Fällen *scheinbar* eine linke Extremität zustande kommen (Fig. 8). Man sieht bei solchen Tieren aber regelmäßig, daß in der frühesten Entwicklung aus dem Transplantat zunächst eine in disharmonischer Richtung sich entwickelnde vordere Extremität entsteht und daß erst nachträglich die harmonische spiegelbildliche Gliedmaße zustande kommt. Sie sind durch die Beobachtung der embryonalen Entwicklung solcher künstlichen Mißbildungen aufs schärfste zu unterscheiden von



den *wirklichen* Umwandlungen einer rechten Extremität in eine linke.

Vergleichen wir, was geschieht, wenn die Gliedmaßenanlage im einen Falle über den Rücken des Tieres hinweg, im anderen Falle über die Schnauze des Tieres hinweg auf die andere Körperseite gebracht wird. Es handelt sich im ersteren Falle darum, daß die bis dahin nach vorn gerichtete Seite der Anlage, welche in unseren Bildern mit einem Pfeil bezeichnet ist, nicht in ihrer Lage zum Kopf des Empfängers verändert wird (Fig. 3), während in dem zweiten Fall, in welchem die Anlage vor dem Kopf hinweg auf die



Fig. 8. Amblystomalarve nach Harrison. Bei \* ein knötchenförmiger Rest des Originals. Das Spiegelbild desselben entspricht dem normalen linken Vordergliede.

andere Seite geführt wird, gerade diese Richtung, welche durch die Pfeilspitze angegeben ist, in das Gegenteil verkehrt wird (Fig. 6). Aus dem Resultat der Verpflanzungen ergibt sich, daß bereits in der frühen Zeit, in welcher das Experiment vorgenommen wird, die Anlage von vorn nach hinten in sich festgelegt, polarisiert ist, und das Vorn und Hinten nicht mehr verändert werden können. Denn gleichgültig wie die Extremität in dem Empfänger heranwächst, ihre Richtung ist immer der Pfeilspitze entgegengesetzt, und zwar so, daß sie bei einer Extremitätenanlage, bei der die Pfeilspitze wie gewöhnlich nach dem Kopfe zu schaut, nach dem Schwanz des Empfängers zu in harmonischer Weise auswächst (Fig. 3), während sie bei denjenigen Tieren, bei welchen die Pfeilspitze nach dem Schwanz zu gerichtet ist, nach deren Kopf zu auswächst, also in disharmonischer Richtung (Fig. 6). Eine Ausnahme machen nur die Superregenerate, worauf ich zum Schluß zurückkomme. Während so Vorn und Hinten der origi-

naln Gliedmaße stets durch den Spender bestimmt werden, ist das bei der Bestimmung über Dorsal und Ventral nicht der Fall. In unseren Bildern ist die dorsale Seite durch *D* bezeichnet. Bleibt *D* zu dem Empfänger so orientiert, wie es in der üblichen Lage der Gliedmaße steht (Fig. 6), so entwickeln sich in der Gliedmaße die Dorsal- und Ventralseite so, wie sie an ihrem üblichen Standort entstanden wären, nur in umgekehrter Richtung. Ist aber *D* so gelagert, daß es nicht mehr wie ursprünglich nach dem Rücken der Larve zu zeigt, sondern daß es nach deren Bauch zu gerichtet ist (Fig. 3), so entsteht nicht das, was wir erwarten sollten, sondern jetzt bestimmt der *Empfänger*, welches die dorsale und ventrale Seite der Gliedmaße werden soll. Da das in der Gliedmaßenknospe gelegene dorsale Material ventral zum Empfänger orientiert ist, da umgekehrt das in der Gliedmaße gelegene ventrale Material dorsalswärts schaut (Fig. 3), so wird in diesem Falle durch die Einwirkung des Empfängers eine Umwandlung eingeleitet, und zwar derart, daß innerhalb der Gliedmaßenanlage selbst alles sich so verhält, wie wenn von vornherein das zu dem Empfänger dorsale Material auch dorsal orientiert und umgekehrt das ventral zu dem Empfänger orientierte Material von Anbeginn ein ventrales gewesen wäre. Eine Gliedmaße, welche so orientiert ist, daß ihre Pfeilspitze nach dem Kopfe zu, das dorsale Material nach dem Rücken, das ventrale Material nach dem Bauche zu gerichtet ist, entspricht aber tatsächlich einer linken Gliedmaßenanlage, wie aus Fig. 5 zu ersehen ist. Wir erkennen, die Umgebung der Gliedmaße gewinnt im Falle der Fig. 3 über die Anlage eine derartige Gewalt, daß sie Dorsal in Ventral und Ventral in Dorsal umkehren kann, so daß dann tatsächlich aus der rechten Gliedmaße eine linke geworden ist, welche sich auch in der Folgezeit genau wie eine linke Gliedmaße verhält, d. h. eine dem neuen Standort durchaus entsprechende, harmonische Vordergliedmaße aus sich hervorgehen läßt.

Aus den zahlreichen Experimenten, mit welchen Harrison diese Annahme belegt und bewiesen hat, möchte ich zwei ganz besonders anschauliche hervorheben: erstens die Umwandlung einer linken Extremität in eine rechte auf der *linken* Körperseite, zweitens die Umwandlung zweier Halbextremitäten in eine einzige harmonische Voll-Extremität.

Ist es tatsächlich so, daß Vorn und Hinten durch den Spender und Dorsal und Ventral durch den Empfänger bestimmt werden, so muß es gelingen, eine Gliedmaße, welche von einer bestimmten Körperseite entnommen ist, und welche um 180° gedreht auf denselben Standort zurückverpflanzt wird, von welchem sie entnommen wurde, aus einer Gliedmaße der entsprechenden Körperseite in diejenige der entgegengesetzten Körperseite zu verwandeln. In Fig. 9 denken wir uns die normale linke Anlage der vorderen Extremität durch die Operation möglichst ohne größere

Verletzungen aus ihrem üblichen Standort herausgeschnitten und nun an dieselbe Stelle wieder zurückverpflanzt, aber so, daß die ursprünglich nach dem Kopf zu gerichtete Pfeilspitze nach dem Schwanz zu, und die ursprünglich nach dem Rücken zu gerichtete Seite (D) ventralwärts gerichtet sind. Wenn die Zellen innerhalb der Gliedmaßenanlage von sich aus alles bestimmen könnten (reine Selbstdifferenzierung), so müßte eine Extremität in der Lage des gestrichelten Konturs der Fig. 9 entstehen, eine disharmonisch

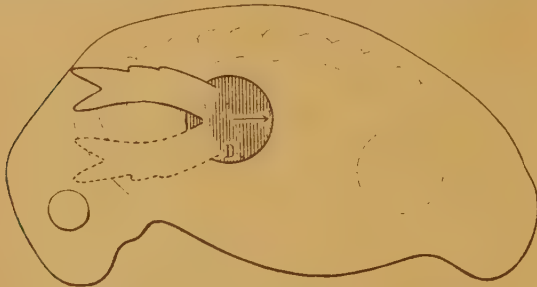


Fig. 9. Modell einer Amblystomalarve. Linke Körperseite. Linke vordere Extremität (schraffierte Scheibe) um 180° gedreht. Schließliches Resultat mit ausgezogenem, anstatt mit gestricheltem Kontur.

orientierte Gliedmaße; welche sich zu der in Fig. 6 gezeichneten rechten verpflanzten Gliedmaße spiegelbildlich verhält. Es geschieht aber tatsächlich die nach unseren bisherigen Erfahrungen erwartete Umwandlung, nämlich statt



Fig. 10. Amblystomalarve nach Harrison. Das mit \* bezeichnete Vorderglied ist aus einer rechtsseitigen Anlage gezeichnet; es ist daraus eine linke Extremität hervorgegangen (auf der rechten Körperseite des Empfängers!).

der in disharmonischer Lage befindlichen linken Extremität entsteht das Spiegelbild dazu: eine *rechte* Extremität aus einer *linken* Anlage auf der linken Körperseite. Wir haben sie in Fig. 9 mit dem für die rechten Extremitäten in allen unseren Abbildungen gewählten ausgezogenen schwarzen Kontur eingezeichnet und sehen, daß sie genau dem entspricht, was wir in Fig. 6 erzielen konnten. Die so hervorgebrachte rechte Gliedmaße befindet sich in disharmonischer Lage und daraus entstehen die früher erwähnten Konsequenzen. Eine natürliche Beweglichkeit wie bei einem in harmonischer Lage befindlichen Transplantat kann nicht erwartet werden. Außerdem ereignen sich gerade in diesen Fällen gar nicht selten Rückdrehungen der eingepflanzten Gliedmaßenanlagen, so daß das vom Experimentator gewollte Ziel vereitelt wird. Trotzdem ge-

lang es *Harrison* einige Male, ganz unverkennbare Umwandlungen auf dem beschriebenen Wege zu erzielen. In Fig. 10 ist eine Larve abgebildet, bei welcher die betreffende Gliedmaßenanlage zwischen die beiden normalen Gliedmaßenanlagen eingepflanzt worden war. Das überzählige Glied hat durchaus den Charakter einer linken Extremität, obgleich es sich auf der rechten Körperseite befindet; man könnte an sich glauben, daß es in der Weise entstanden ist wie in unserer schematischen Fig. 6. Das ist aber in diesem Falle nicht so, sondern es ist durch den Experimentator tatsächlich die Anlage einer rechten Extremität entnommen und in der Weise eingepflanzt worden, wie es in dem schematischen Modell Fig. 9 von uns für den üblichen Standort der Vordergliedmaße verdeutlicht worden ist. In Fig. 11 ist auf demselben Wege eine linke Extremität zur rechten geworden. Man denke sich in diesem Falle die normale rechte Extremität des Tieres vor dessen Kopf hinweg nach links



Fig. 11. Amblystomalarve nach Harrison. Aus einer linken Extremitätenanlage ist eine rechte Extremität \* geworden (auf linker Körperseite!).

herübergeführt, so wird man ohne weiteres einsehen, daß die implantierte Extremität durchaus einer normalen rechten Gliedmaße entspricht. Aber es ist in diesem Falle tatsächlich keine rechte Extremität implantiert, sondern das Resultat ist gewonnen, indem eine linke Gliedmaßenanlage um 180° gedreht und an demselben Ort, dem sie entnommen war, wieder eingepflanzt wurde, genau wie es durch unsere Fig. 9 veranschaulicht wird.

Noch viel überraschender sind die Resultate, welche *Harrison* erhielt, wenn er Halbknospen miteinander zusammenfügte. Solche *Halb- und Halb-Pfropfungen* werden etwa in der Weise ausgeführt, daß die obere Hälfte einer Gliedmaßenanlage stehen bleibt und eine untere Gliedmaßenhälfte zu ihr hinzugefügt wird, so daß beide zusammen eine ganze Gliedmaßenanlage ausmachen. Es gibt zwei Möglichkeiten, die beiden erwähnten Halbscheiben miteinander so zu verbinden, daß



daraus wieder eine Scheibe von kreisförmiger Begrenzung entsteht. Entweder wird wie in Fig. 12a eine rechte und eine linke Halbanlage so zusammengefügt, daß beide mit ihren nach vorn gerichteten Rändern (Pfeilspitzen) in derselben Richtung orientiert sind, oder aber, wie in Fig. 12b, daß bei der einen die Pfeilspitze nach vorn und bei der anderen nach hinten gerichtet ist. Will man wie in a verfahren, so zerschneidet man eine linke Extremität, dreht ihre dorsale Hälfte um  $180^\circ$  und heilt sie mit der dorsalen Hälfte der rechten Extremität an deren Standort zusammen. Will man das Resultat b erreichen, so verbindet man die dorsale Hälfte einer linken Extremität ohne Drehung mit der ventralen Hälfte einer rechten, am Standort verbleibenden Extremität. Es gibt noch eine ganze Reihe von anderen Möglichkeiten, solche Halb- und Halb-Pfropfungen durch Kombination von horizontal oder auch senkrecht zerteilten Anlagen zu erreichen. Wir wollen uns hier mit den beiden beschriebenen Fällen begnügen. Wenn das Aus-

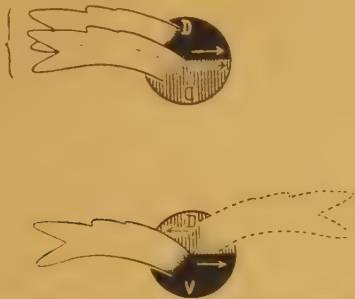


Fig. 12. Modelle von Halb- und Halbpfropfungen.

wachsen der Extremitäten allein von dem Spender bestimmt würde, so müßten wir erwarten, daß in Fig. 12a, bei der beide Halbanlagen ihre Pfeilspitze nach derselben Richtung wenden, auch nach derselben Richtung Extremitäten entstanden, aber die aus der schraffierten Anlage hervorsprossende Gliedmaße müßte wie die Anlage selbst um  $180^\circ$  gedreht sein, sich also spiegelbildlich zu der aus der schwarzen Halbscheibe entstehenden verhalten (wie das gestrichelte Glied in Fig. 9). Aber der Empfänger vermag dasjenige Implantat, dessen Dorsalseite seiner Ventralseite entspricht, umzuwandeln, während die richtig zu seiner Dorsalseite orientierte Anlage unverändert bleibt. Wir haben das Resultat, des Experimentes in unserem Modell so ausgedrückt, daß sowohl für die obere schwarze Hälfte (rechte Gliedmaße) wie für die untere schraffierte Hälfte (linke Gliedmaße) die betreffende Extremität für sich gesondert gezeichnet wurde. Beide überlagern sich, da sie in derselben Richtung auswachsen, und durchdringen sich tatsächlich so sehr, daß nur eine rechte Gliedmaße entsteht, wie durch die im Schema hinzugezeichnete Klammer angedeutet werden soll. In der Tat unterscheidet sich das Resultat einer solchen Halb- und Halb-Pfropfung

(Fig. 13) in keiner Weise von einer normalen rechten Gliedmaße. Der nicht unterrichtete Beobachter müßte in diesem Falle glauben, daß die Extremität aus einer rechten Gliedmaßenanlage ohne jeden Eingriff entstanden wäre; sie ist aber laut Protokoll so zustande gekommen, daß genau wie in unserem Schema 12a von der normalen Gliedmaßenanlage nur die dorsale Hälfte stehen blieb, daß ihre ventrale Hälfte dagegen durch eine von links entnommene Knospe ersetzt wurde, und zwar durch ihre dorsale, um  $180^\circ$  gedreht eingepflanzte Hälfte. Man könnte nun den Einwand machen, daß in diesem Falle die eingepflanzte



Fig. 13. Amblystomalarve nach Harrison. Bei \* eine aus zwei Halbknospen gezüchtete Voll Extremität.

Hälfte zugrunde gegangen und daß die Extremität nur aus der normalen dorsalen Hälfte der am Ort entstandenen Gliedmaße hervorgegangen sei, was in der Tat zu erzielen ist, wenn man Gliedmaßen zerschneidet und nur die Hälfte zum Weiterwachsen veranlaßt. Aber daß das nicht der Fall ist, geht aus dem entgegengesetzten Experiment hervor, welches wir in Fig. 12b verdeutlichen. Wenn tatsächlich immer nur diejenige Gliedmaße entstände, deren Hälfte am Ort stehen geblieben ist, so müßten wir in allen Fällen nur eine Gliedmaße erwarten. Aber in den Fällen, in

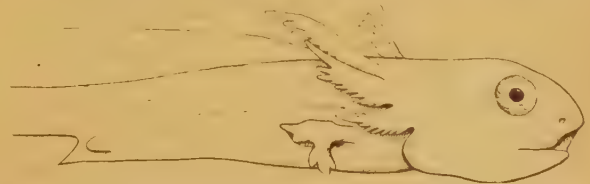


Fig. 14. Amblystomalarve nach Harrison. Doppelgliedmaße, aus zwei Halbknospen gezüchtet. Etwas gedreht gegenüber Fig. 12b.

welchen wie in Fig. 12b die beiden Halbknospen so miteinander vereinigt sind, daß Dorsal und Dorsal bei Implantat und Empfänger einander entsprechen und gemäß der Richtung der Pfeile ein disharmonisches Resultat erwartet werden muß, entstehen auch tatsächlich zwei Gliedmaßen, und zwar die eine entsprechend der für eine normale linke Gliedmaße zu erwartenden Extremität, die mit gestrichelten Konturen angegeben ist, und die andere, welche für die schwarz gezeichnete normale rechte Gliedmaße erwartet werden muß, die in unserem Fall mit der für diese typischen schwarzen ausgezogenen Konturlinien wiedergegeben wurde. Aus der Fülle solcher Doppelgliedmaßen, welche Harrison erhalten hat, reproduziere ich nur ein Exemplar, welches ich, um den Vergleich mit dem Schema dem Leser

anschaulicher zu gestalten, im Spiegelbild wiederzugeben (Fig. 14). In diesem Falle ist die Gliedmaßenanlage nicht etwa durch Verdoppelung einer einzigen originalen Gliedmaße entstanden, sondern es ist durch die Zusammenfügung einer der linken und einer der rechten Seite des Tieres entnommenen Halbanlage das in der Abbildung wiedergegebene Ergebnis zustande gekommen.

Es würde zu weit führen, hier auf die vielen anderen von *Harrison* angestellten Kombinationen einzugehen. Die beschriebenen werden genügen, um zu zeigen, daß tatsächlich in der originalen Gliedmaße durch Selbstdifferenzierung Vorn und Hinten so festgelegt sind, daß in dem Operationsstadium, welches bis zu einem Embryo mit offener Medullarplatte zurückverlegt werden kann, nichts mehr daran zu ändern ist. Mag man mit der Gliedmaßenanlage machen was man will, mag man sie auf die rechte oder auf die linke Körperhälfte verpflanzen, woher sie auch immer stamme, es wird sich aus ihr immer entsprechend ihrer ursprünglichen Situation eine Gliedmaße entwickeln, welche entgegengesetzt dem von uns im Schema angebrachten Pfeile herausproßt. Soweit ist also die Gliedmaßenanlage Herr über ihr eigenes Schicksal. Dagegen ist sie es nicht darüber, was dorsal und ventral entstehen soll. Vielmehr vermag die neue Umgebung eine innerhalb einer Gliedmaßenanlage vielleicht bereits getroffene Entscheidung darüber, was dorsal und ventral sich entwickeln soll, rückgängig zu machen. Es scheint aus der Pause, welche bei Gliedmaßen entsteht, die nachträglich aus rechten in linke oder umgekehrt aus linken in rechte verwandelt wurden, bis sie die neue Entwicklungsrichtung nehmen, hervorzugehen, daß bereits tatsächlich eine Bestimmung getroffen war, die aber noch rückgängig gemacht werden kann, was, wie wir sahen, bei der Bestimmung über Vorn und Hinten unter keinen Umständen eintritt. Die Bestimmung über Dorsal und Ventral wird also durch das neue Milieu zustande gebracht, und zwar erzwingt jedesmal der Rücken der Larve, daß der ihm zugewendete Teil der Gliedmaßenanlage zu einem dorsalen Teil wird, und umgekehrt erzwingt der Bauch der Larve, daß der ihm zugekehrte Teil der Gliedmaße zu einer ventralen Hälfte wird. Wir wollen durch diese Bezeichnungen „Rücken“ und „Bauch“ nichts anderes ausdrücken als die Richtung, von welcher die Beeinflussung der Gliedmaße ausgeht, während über das Wie und die Kräfte, die dabei tätig sind, zunächst nichts ausgesagt werden soll.

So erstaunlich es ist, daß durch Ausnutzung derjenigen Kräfte, welche innerhalb der Gliedmaßenanlage gelegen sind, und derjenigen, welche von auswärts auf die Gliedmaßenanlage einwirken, der Experimentator in den Stand gesetzt wird, Rechts in Links umzuwandeln und umgekehrt, noch wichtiger erscheint es, die allgemeinen Schlüsse kennen zu lernen, welche *Harri-*

*son* aus diesen Ergebnissen bezüglich der allgemeinen Eigenschaften der Zellen und Gliedmaßenanlagen hat ziehen können.

(Schluß folgt.)

## Röntgenspektren und chemische Valenz.

Von Gregor Wentzel, München.

### 1. Die bisherigen experimentellen Untersuchungen.

#### Modellmäßige Deutung ihrer Ergebnisse.

Die weitgehende Ähnlichkeit der Röntgenspektren aller Elemente, insbesondere ihre Unabhängigkeit von deren chemischem Charakter, erklärt sich bekanntermaßen aus dem Umstande, daß sich die Vorgänge, die zur Emission und Absorption von Röntgenstrahlen Anlaß geben, wesentlich im Atominnern, die Vorgänge der chemischen Bindung dagegen an der Atomoberfläche abspielen. Streng genommen dürften allerdings die Besetzungsverhältnisse der äußeren Atomschalen doch nicht ganz ohne Einfluß auf die Bahnen und Energien der inneren Elektronen sein; tatsächlich ist auch von *Lindh*<sup>1)</sup> festgestellt worden, daß die Lage der *K*-Absorptionsgrenze von Chlor mit der Valenz variiert.

Als Absorptionsgrenzen bezeichnet man bekanntlich jene charakteristischen Schwärzungsdiskontinuitäten, die man auf der photographischen Platte erhält, wenn man spektral zerlegtes kontinuierliches Röntgenlicht durch eine absorbierende Schicht, z. B. eine Aluminiumfolie, hindurchschickt. Die *K*-Grenze, mit der allein wir es im folgenden zu tun haben werden, ist von allen diesen Diskontinuitäten die härteste (kurzwelligste); modellmäßig erklärt sie sich folgendermaßen: Die Arbeit, die aufzuwenden wäre, um aus der *K*-Schale etwa eines Al-Atoms ein Elektron ins Unendliche zu entfernen, sei *W*. Von den kontinuierlich verteilten Röntgenfrequenzen vermögen nun diejenigen, die größer als *W/h* sind (*h* = Plancksches Wirkungsquantum), ein *K*-Elektron photoelektrisch aus dem Al-Atom zu entfernen; sie werden durch diese Arbeitsleistung in ihrer Intensität geschwächt (absorbiert). Die Frequenzen  $< W/h$  dagegen verfügen nicht über die dazu erforderliche Energie und gehen daher mit erheblich größerer Intensität durch die Al-Folie hindurch. Die Grenzfrequenz  $\nu$  ist also mit der Ionisierungsarbeit *W* durch die Gleichung verknüpft:

$$h\nu = W.$$

Um für die Frequenzen und Energiegrößen im folgenden ein bequemes Maß zu haben, führen wir noch die minimale Potentialdifferenz *V* ein, die ein Kathodenstrahlelektron durchlaufen haben muß, um die *K*-Schale des betreffenden Atoms ionisieren zu können:

$$V = \frac{h\nu}{e} = \frac{W}{e}$$

(*e* = Elektronenladung).

<sup>1)</sup> ZS. f. Phys. 6, 303, 1921.



Das interessante Ergebnis der Untersuchung von *Lindh* besteht nun in der Feststellung, daß die *K*-Absorptionskante von Chlor bei etwas verschiedenen Wellenlängen liegt, je nachdem Chlorid, Chlorat oder Perchlorat als absorbierende Substanz verwendet wird. Nach *Kossel* unterscheiden sich aber die verschiedenwertigen Modifikationen eines Elements durch die Besetzungsverhältnisse ihrer äußeren Atomshalen. Um den *Lindhschen* Effekt modellmäßig verständlich zu machen, haben wir also den Einfluß der äußeren Schalen auf die *K*-Grenze, d. h. auf die *K*-Ionisierungsarbeit, zu diskutieren. Dies soll zunächst in möglichst elementarer Weise geschehen<sup>2)</sup>.

Man denke sich etwa ein siebenfach positives Cl-Ion, wie man es als Bestandteil des  $\text{ClO}_4^-$ -Ions im  $\text{KClO}_4$ -Kristall anzunehmen hat; es besteht aus einem 17fach geladenen Atomkern, einer 2fach besetzten *K*-Schale und einer 8fach besetzten *L*-Schale. Eine *M*-Schale besitzt es nicht. Das einfach negative Cl-Ion, der bekannte Baustein des Steinsalzkrystalles, unterscheidet sich von jenem gerade durch den Besitz einer *M*-Schale von 8 Elektronen. Da das Potential dieser 8 *M*-Elektronen auf ein *K*-Elektron positiv ist, wird die *K*-Ionisierungsarbeit durch ihre Gegenwart erleichtert. Um dies anschaulich einzusehen, denke man sich die *M*-Schale des  $\text{Cl}^-$ -Ions durch eine gleichmäßig mit negativer Elektrizität (8 Elementarquanten) belegte Kugeloberfläche ersetzt; diese übt auf ein in ihrem Innern befindliches Elektron keine Kraft aus. Es werde nun einerseits beim  $\text{Cl}^-$ -Ion, andererseits beim  $\text{Cl}^{+++++++}$ -Ion ein *K*-Elektron ins Unendliche entfernt. Auf der Strecke von der *K*-Schale bis zur (reellen oder virtuellen) *M*-Schale muß an beiden Elektronen die gleiche (positive) Arbeit geleistet werden. Zur weiteren Entfernung ins Unendliche ist nun beim  $\text{Cl}^-$ -Ion, welches nach Verlust eines *K*-Elektrons nach außen elektrisch neutral wirkt, keine weitere Arbeitsleistung mehr erforderlich, wohl aber beim  $\text{Cl}^{+++++++}$ -Ion, das dank der überschüssigen positiven Kernladung eine Anziehung auf das im Äußern befindliche Elektron ausübt, die überwunden werden muß. Die Ionisierungsarbeit ist demnach bei  $\text{Cl}^{+++++++}$  größer als bei  $\text{Cl}^-$ , und die *K*-Grenze von  $\text{Cl}^{+++++++}$  sollte also gegenüber der von  $\text{Cl}^-$  nach der härteren Seite verschoben erscheinen. Wie man leicht abschätzt, sollten sich die entsprechenden Anregungsspannungen um etwa 100 Volt unterscheiden<sup>3)</sup>.

<sup>2)</sup> Das hier benutzte Verfahren muß als sehr roh bezeichnet werden, da nur die Energiebilanz eines Elektrons, nicht die des gesamten Atoms betrachtet wird, überdies lediglich mit den Hilfsmitteln der Statik. Wie sich die Diskussion streng durchführen ließe, ist aus einer früheren Arbeit des Verf. (Ann. d. Phys. 66, 437, 1921) zu ersehen.

<sup>3)</sup> Bei Berücksichtigung sekundärer Einflüsse (Kontraktion des ganzen Atoms bei Entfernung eines *K*-Elektrons) würde sich ein (möglicherweise erheblich) kleinerer Wert ergeben.

Befinden sich die Ionen im Kristallverband, beispielsweise im  $\text{KClO}_4$ - bzw.  $\text{KCl}$ -Kristall, so wird der Effekt allerdings nur zum Teil zur Ausbildung kommen können, da das Potential der in der Umgebung befindlichen Kristallionen auf das betreffende *K*-Elektron bei  $\text{KClO}_4$  positiv, bei  $\text{KCl}$  negativ ist. In Analogie zu dem bekannten Modell der Kristallstruktur vom Kalkspat kann man nämlich annehmen, daß in einem  $\text{KClO}_4$ -Kristall jeweils 4  $\text{O}^{--}$ -Ionen in einem relativ kleinen Abstand um ein  $\text{Cl}^{++++++}$ -Ion herumgruppiert sind und mit diesem ein stabiles Ganzes, ein  $\text{ClO}_4^-$ -Ion bilden. Wir wollen uns darauf beschränken, ein solches  $\text{ClO}_4^-$ -Ion mit einem  $\text{Cl}^-$ -Ion zu vergleichen; von dem Einfluß der  $\text{K}^+$ -Ionen, der doch im wesentlichen bei Chlorid und Perchlorat der gleiche sein wird, sehen wir ab. Ebenso wie die 8 Elementarladungen der *M*-Schale von  $\text{Cl}^-$  denke man sich jetzt auch die 8 überschüssigen Elementarladungen der 4  $\text{O}^{--}$ -Ionen bei  $\text{ClO}_4^-$  gleichmäßig über eine Kugeloberfläche verteilt; die Modelle von  $\text{Cl}^-$  und  $\text{ClO}_4^-$  unterscheiden sich dann in elektrischer Hinsicht nur noch durch die Radien jener Kugeloberflächen. Auf Grund der obigen Überlegungen sieht man leicht, daß dasjenige Ion, das den größeren Radius hat, die härtere Absorptionskante besitzen muß. In der Tat erhielt *Lindh* die *K*-Grenze von Cl bei Verwendung von  $\text{KClO}_4$  als absorbierender Materie härter als bei Verwendung von  $\text{KCl}$ ; um in Übereinstimmung mit unserem Ergebnis zu kommen, braucht man also nur die modellmäßig sehr einleuchtende Annahme zu machen, daß im  $\text{ClO}_4^-$ -Ion der mittlere Abstand der O-Kerne vom Cl-Kern größer ist als der Radius der *M*-Schale im  $\text{Cl}^-$ -Ion. Die von *Lindh* gemessene Wellenlängendifferenz entspricht einer Spannungsdifferenz von 7 Volt, ist also erheblich kleiner als die Differenz, welche die Theorie oben für reine  $\text{Cl}^-$ - und  $\text{Cl}^{+++++++}$ -Ionen ergab<sup>4)</sup>. Man kann daraus schließen, daß der Abstand der O-Kerne vom Cl-Kern bei  $\text{ClO}_4^-$  nur wenig größer ist als der Radius der *M*-Schale von  $\text{Cl}^-$ , daß also die Durchmesser der beiden Ionen von gleicher Größenordnung sind.

Den Untersuchungen von *Lindh* mit Cl gingen diejenigen von *Bergengren*<sup>5)</sup> mit P voraus. Dieser erhielt mit Phosphorsäure und Phosphaten eine etwas härtere *K*-Grenze als mit schwarzem Phosphor; der Unterschied war von gleicher Größenordnung wie bei *Lindh* (6 Volt). Es liegt außerordentlich nahe, auch diesen Effekt durch eine Verschiedenheit der Ionisationsverhältnisse zu erklären. *Bergengren* selbst bringt ihn mit der Allotropie von weißem und schwarzem Phosphor in Zusammenhang. Bei violettem Phosphor, der aus weißem und schwarzem Phosphor zusammengesetzt sein soll, erhält er nämlich eine Ver-

<sup>4)</sup> Man beachte aber Anm. 3.

<sup>5)</sup> ZS. f. Phys. 3, 247, 1920.

doppelung der *K*-Kante; die weichere Kante stimmt mit derjenigen des schwarzen Phosphors überein, die härtere nahezu mit der der Phosphorsäure. Letztere schreibt er dem weißen Phosphor zu.

## 2. Äußerungen photoelektrischer<sup>6)</sup> und chemischer Ionisation in der Frickeschen Feinstruktur der *K*-Grenze.

Die obigen Überlegungen stehen in gewissem Zusammenhang mit einer kürzlich vom Verf.<sup>7)</sup> gegebenen Theorie der Feinstruktur der *K*-Grenze. Wie *H. Fricke*<sup>8)</sup> festgestellt hat, ist die *K*-Absorptionsgrenze bei den leichten Elementen auf der härteren Seite von einer oder mehreren schwächeren Absorptionsdiskontinuitäten begleitet; wie Verf. l. c. hat zeigen können, gehören diese schwächeren Kanten solchen Atomen an, die in der *K*-, *L*- oder *M*-Schale infolge Photoeffektes bereits eine einfache Ionisation erlitten haben<sup>9)</sup>. Bei *Fricke* sowohl wie bei *Bergengren-Lindh* handelt es sich also um eine Verschiedenheit der Schalenbesetzung. Es besteht aber folgender wesentlicher Unterschied: Wenn bei *Lindh* von  $KCl$  zu  $KClO_4$  übergegangen wurde, so wurden zwar den Chlorionen 8 Elektronen entzogen; aber diese wurden nicht ins Unendliche entfernt, sondern nur auf die benachbarten O-Ionen verteilt, so daß der Kristall im ganzen elektrisch neutral blieb, und hierdurch wurde, wie oben ausgeführt, die erwartete Verschiebung der *K*-Kante größtenteils kompensiert. Eine solche Kompensation tritt bei der Frickeschen Feinstruktur nicht ein; ein bestimmtes Cl-Ion befindet sich hier ja immer, gleichviel ob es im Innern ein-, zwei- oder dreifach ionisiert ist, in derselben Kristallumgebung, und diese kann also auf die Größe der Anregungsarbeiten, die jenen Ionisationszuständen entsprechen, keinen Einfluß haben<sup>10)</sup>. Auf diese Weise versteht man, daß die von *Fricke* gemessenen Abstände benachbarter *K*-Kanten von gleicher Größenordnung und sogar größer sind als die von *Lindh* und *Bergengren* festgestellten Abweichungen, obwohl es sich dort um einfache, hier aber um etwa achtfache Ionisation handelt. *Lindh* hat übrigens die Frickesche Feinstruktur

in seinen Aufnahmen wiedergefunden, und zwar anscheinend im wesentlichen unabhängig von der chemischen Valenz, wie es auch nach unserer Auffassung zu erwarten ist.

In einem Falle scheint es sich aber auch bei der Frickeschen Feinstruktur nicht um photoelektrische Ionisierung, sondern um Unterschiede in der chemischen Ionenbildung zu handeln. Bei 22 Ti, 23 V, 24 Cr hat *Fricke* auch auf der weicheren Seite der Hauptkante eine schwächere Diskontinuität beobachtet, was insofern auffällig ist, als sich alle sonst beobachteten Kantenfeinstrukturen<sup>11)</sup> ausschließlich nach der härteren Seite erstrecken. Verf. hat l. c. die Vermutung ausgesprochen, daß das Auftreten dieser weicheren Kante durch die chemische Sonderstellung der Elemente 22 Ti bis 28 Ni<sup>12)</sup> bedingt sei, bei denen sich die *M*-Schale nach *Bohr* weder in der stabilen Achter- noch in der stabilen Achtzehnerkonfiguration befindet und sich daher mit einigen ihrer Elektronen chemisch betätigen kann. Leider sind die *K*-Grenzen der Elemente 25 Mn bis 29 Cu noch nicht auf ihre Feinstruktur hin untersucht. Die von *Fricke* verwendeten absorbierenden Stoffe waren  $TiO_2$ ,  $V_2O_5$  und  $K_2CrO_4$ , d. h. vierwertiges Ti, fünfwertiges V und sechswertiges Cr; die entsprechenden Ionen haben sämtlich eine achtfach besetzte *M*-Schale. Man kann sich nun vorstellen, daß neben den Ionen der Maximalvalenz (vielleicht gerade infolge der Röntgenbestrahlung) auch zwei- oder dreiwertige Ionen vorhanden waren; dann ist in der Tat das Auftreten einer weicheren Kante zu erwarten, wie aus Überlegungen folgt, die den oben für Cl ausgeführten vollkommen analog sind<sup>13)</sup>. Auch die Größenordnung der beobachteten Kantenabstände (sie entsprechen bei V und Cr einer Spannungsdifferenz von 13 bzw. 12 Volt) stimmt gut zu dieser Annahme. Wir hätten es also hier jeweils mit der Überlagerung zweier Feinstrukturbilder zu tun, ähnlich wie in dem oben erwähnten Absorptionsspektrum des violetten Phosphors.

## 3. Die weichen *K*β-Satelliten.

Wir wenden uns nunmehr zu den charakteristischen Emissionsspektren der chemischen Elemente, die bekanntlich Liniencharakter haben, und stellen die Frage, ob für diese ähnlich wie für die Absorptionsspektren eine Abhängigkeit von der Valenz zu erwarten ist. Wir beschränken uns wiederum auf die *K*-Serie, die härteste der bekannten Liniengruppen. Dieselbe kommt dadurch zustande, daß ein Elektron aus der *L*-, *M*- oder *N*-Schale in die *K*-Schale übergeht, nachdem diese durch Elektronenstoß oder Photoeffekt ein Elektron verloren hat; die bei jenem Über-

<sup>6)</sup> Unter photoelektrischer Ionisation ist in diesem Zusammenhang die Entfernung innerer Elektronen aus dem Atom infolge von Röntgenerregung zu verstehen (vgl. S. 464).

<sup>7)</sup> In der in Anm. 2 zitierten Arbeit, § 5.

<sup>8)</sup> Phys. Rev. 16, 202, 1920.

<sup>9)</sup> Die Kosselsche Erklärung dieser Kantenfeinstruktur mittels virtueller Bahnen im Atomäußern (ZS. f. Phys. 1, 119, 1920) ist unbefriedigend, da sie den regelmäßig linearen Gang der Frequenzdifferenzen mit der Ordnungszahl unverständlich läßt. Nach der Kosselschen Theorie wäre beispielsweise bei  $Cl^-$  überhaupt keine Feinstruktur möglich.

<sup>10)</sup> Die in der Umgebung befindlichen Ionen werden zwar ebenfalls photoelektrische Ionisierung und damit eine positive Aufladung erfahren können, aber ihr Ionisationszustand wird im Zeitmittel immer der gleiche sein. Schwankungen desselben könnten höchstens die Schärfe der Absorptionskante beeinträchtigen.

<sup>11)</sup> Vgl. *G. Hertz*, ZS. f. Phys. 3, 19, 1920. — *W. Stenström*, Diss. Lund 1919.

<sup>12)</sup> „Übergangionen“, vgl. *H. Grimm*, ZS. f. phys. Chemie 98, 353, 1921; S. 362 u. 380.

<sup>13)</sup> Daß es sich um den Unterschied zwei- und dreiwertiger Ionen handelt, wie Verf. ursprünglich (l. c. S. 458) vermutete, ist wohl weniger wahrscheinlich.



gang freiwerdende Energie  $W$  wird als Röntgenlicht von der Frequenz  $\nu = W/h$  emittiert.

Wir knüpfen an die obige Untersuchung der Elemente mit veränderlicher  $M$ -Schalenbesetzung (15 P bis 28 Ni) an. Auf Grund des dort verwendeten Bildes einer kontinuierlich geladenen  $M$ -Schale, die auf die in ihrem Innern stattfindenden Energieumsätze keinen Einfluß haben würde, wäre für die  $K_\alpha$ - und die  $K_\beta$ -Linie, welche Elektronenübergängen aus der  $L$ - bzw.  $M$ -Schale in die  $K$ -Schale entsprechen, keine Abhängigkeit von der Valenz zu erwarten, von der  $K_\gamma$ -Linie aber, die einem Übergang aus der  $N$ - in die  $K$ -Schale (also durch die  $M$ -Schale hindurch) entspricht, die gleiche Abhängigkeit wie für die  $K$ -Absorptionsgrenze. Nun gibt aber jenes Bild offenbar nur für solche Elektronenbewegungen eine ausreichende Näherung, bei denen sowohl der Anfangs- wie der Endpunkt in diejenigen Bereiche fällt, wo das Potentialfeld der geladenen Kugeloberfläche dasjenige der wirklichen  $M$ -Schale gut approximiert; das ist einerseits in großer Kernnähe, andererseits weit außerhalb des Atoms der Fall. Bei der  $K$ -Grenze, der  $K_\alpha$ - und der  $K_\gamma$ -Linie trifft jene Bedingung zweifellos zu. Anders bei der  $K_\beta$ -Linie. Diese wird emittiert, wenn ein  $M$ -Elektron in die  $K$ -Schale übergeht. Das Potential der übrigen  $M$ -Elektronen auf das übergehende ist im Endzustand des Prozesses größer als im Anfangszustand; durch ihre Anwesenheit wird also die beim Übergang freiwerdende Energie und damit die ausgestrahlte Frequenz verkleinert. Je höher die  $M$ -Schale besetzt ist, desto größer wird der Potentialunterschied im Anfangs- und Endzustand und desto weicher die emittierte  $\beta$ -Linie sein. Die Unterschiede werden wiederum durch den Einfluß der benachbarten Ionen zum Teil kompensiert, aber nicht in ihrer Richtung geändert werden können. Die  $\beta$ -Linie sollte also qualitativ die gleiche Abhängigkeit von der Valenz zeigen wie die Absorptionskante und die  $\gamma$ -Linie.

E. Hjalmar<sup>14)</sup> hat die  $K_\beta$ -Linie von zweiwertig negativem und sechswertig positivem Schwefel auf einen derartigen Effekt hin untersucht und keinen Lagenunterschied feststellen können. Er führt selbst das negative Ergebnis seiner Messungen darauf zurück, daß infolge erhöhter Temperatur eine chemische Umsetzung stattgefunden haben könne. Einen Hinweis auf eine Erklärungsmöglichkeit erblicken wir in dem Umstande, daß Hjalmar mit zweiwertigem Schwefel neben der Haupt- $\beta$ -Linie einen weichen Begleiter erhielt<sup>15)</sup>. Könnte man an-

nehmen, daß bei beiden Aufnahmen überwiegend Sulfat vorhanden gewesen ist, so hätte man, um den Anschluß an die obigen Überlegungen zu erreichen, die intensive Hauptlinie dem Sulfat, den weichen Begleiter dem Sulfid zuzuschreiben. Doch scheint uns die Frage zur eingehenden Diskussion noch nicht reif zu sein, da die bisherigen Angaben über die chemische Zusammensetzung der emittierenden Substanzen und insbesondere über die relativen Intensitäten der beobachteten Begleiter völlig unzureichend sind. Dies gilt vor allem auch für die nächst leichteren Elemente 15 P, 14 Si, 13 Al, 12 Mg, bei denen Hjalmar<sup>16)</sup> je zwei weiche  $\beta$ -Begleiter beobachtet hat.

Bei 17 Cl, 19 K und 20 Ca ist nur ein harter  $\beta$ -Begleiter bekannt, dessen Ursprung vom Verf. l. c. auf photoelektrische Ionisierung zurückgeführt wurde. Das Fehlen anderer Begleiter erklärt sich daraus, daß bei den genannten Elementen die Ionen mit 8fach besetzter  $M$ -Schale die sonst etwa möglichen Ionen an Stabilität weit übertreffen. Bei 22 Ti tritt auf einmal wieder ein weicher Begleiter auf; er konnte von Hjalmar bis 28 Ni verfolgt werden. Die Analogie zu den oben beschriebenen Verhältnissen bei der  $K$ -Absorptionskante ist frappant. Sie wurde zuerst von Sommerfeld bemerkt, der feststellte, daß der Abstand des  $\beta$ -Begleiters von der Haupt- $\beta$ -Linie fast genau mit dem Abstand der weichen Frickeschen Kante von der Haupt- $K$ -Kante übereinstimmt. Sommerfelds ursprüngliche Deutung dieser Feinstrukturen als „intermediärer Dubletts“ ist nach einer Bemerkung von Sommerfeld in den Physik. Ber. 2, 842, 1921, nicht aufrechtzuerhalten. Wir haben vielmehr in der Linien- ebenso wie in der Kantenfeinstruktur den Einfluß der chemischen Ionisationsverhältnisse zu erblicken. Beispielsweise wird man in der Hjalmarschen Aufnahme der  $\beta$ -Gruppe von V, die mit  $V_2O_5$  erhalten wurde, die Haupt- $\beta$ -Linie ( $\beta_1$ ) dem fünfwertigen Ion (8fach besetzte  $M$ -Schale), den weichen Begleiter ( $\beta'$ ) einer Beimengung von drei- oder zweiwertigen Ionen (10- bzw. 11fach besetzte  $M$ -Schale) zuschreiben können.

Die  $K_\gamma$ -Linie ist erst von 20 Ca aufwärts von Element zu Element beobachtet und sicher identifiziert<sup>17)</sup>. Bei ihr müssen wir nach Obigem eine analoge Feinstruktur wie bei der  $K_\beta$ -Linie und der  $K$ -Grenze erwarten; doch ist eine solche, vermutlich wegen zu geringer Intensität, bis jetzt nicht bemerkt worden.

Wie man sieht, sind die bisherigen experimentellen Ergebnisse mit der hier vertretenen Auffassung durchaus in Einklang. Freilich ist das Material, auf das wir uns stützen, noch recht dürftig. Bei den Elementen oberhalb 29 Cu, z. B. 35 Br. ist überhaupt noch kein Anzeichen einer Abhängigkeit der Röntgenspektren von der Valenz gefunden worden. Man würde solche in erster Linie in der  $L$ -Serie zu suchen haben, da

<sup>14)</sup> ZS. f. Phys. 7, 341, 1921; Nr. 2.

<sup>15)</sup> Außerdem wurde auch ein harter Begleiter gefunden. Hjalmar identifiziert ihn (auf Grund der Moseleyschen Beziehung) mit der  $\gamma$ -Linie der nächst schwereren Elemente. Auch diese Linie zeigt keine merkliche Abhängigkeit von der Valenz. Dieser Umstand spricht gleichfalls zugunsten der Annahme, daß die Valenz des Schwefels in einer der beiden Aufnahmen nicht gut definiert war.

<sup>16)</sup> ZS. f. Phys. 1, 439, 1920.

<sup>17)</sup> Vgl. aber Anm. 15.

die *K*-Serie mit steigender Atomnummer bald so hart wird, daß die kleinen Frequenzdifferenzen, auf die es hier ankommt, nicht mehr meßbar sein dürften.

#### Zusammenfassung.

1. Die von *Lindh* bei Cl beobachtete Abhängigkeit der *K*-Absorptionskante von der Valenz wird mit Rücksicht auf ihre modellmäßige Bedeutung nach Vorzeichen und Größenordnung diskutiert.

2. Es wird wahrscheinlich gemacht, daß die von *Fricke* entdeckte Feinstruktur der *K*-Kante von Ti, V und Cr, soweit sie sich nach der weichen Seite erstreckt, von der Anwesenheit chemisch verschiedenwertiger Ionen herrührt.

3. Die Feinstruktur der *K<sub>β</sub>*-Linie der leichten Elemente wird im gleichen Sinne gedeutet.

### Besprechungen.

**Lorenz, Richard, Raumerfüllung und Ionenbeweglichkeit.** Leipzig, Leopold Voß, 1922. 289 S., 17 Textfiguren und 1 Tafel.  $15\frac{1}{2} \times 23\frac{1}{2}$  cm. Preis geh. M. 105,—; geb. M. 120,—.

Der zunächst etwas merkwürdig anmutende Titel des Buches ist mit gutem Bedacht gewählt worden. Handelt es sich doch darum, den Einfluß der wahren Ionengröße auf ihre Beweglichkeit zu untersuchen. Das ganze erste Buch ist daher einer Besprechung der Methoden gewidmet, nach denen man Zahlenmaterial für die Raumerfüllung gewinnen kann, wenn unter diesem Wort „der Quotient von dem von den Molekülen eingenommenen Raume zu dem Volumen des Stoffes bei irgendeinem Zustandspunkt“ verstanden wird. Sämtliche verfügbaren Methoden, wie die Theorie der übereinstimmenden Zustände, verschiedene Zustandsgleichungen, die mittlere freie Weglänge, geometrische Betrachtungsweisen und optische Konstanten, wurden zur Berechnung herangezogen und die Resultate an reichem Zahlenmaterial geprüft. Als theoretisch wahrscheinlichsten Wert, bestimmt aus der inneren Reibung von Gasen und Dämpfen, sowie einer Berechnung der kritischen Isothermen, findet der Verfasser die Raumerfüllungszahl beim absoluten Nullpunkt zu 0,53, die mit der geometrisch ermittelten im Betrage von 0,52 bei einer kubischen Packung von Kugeln — Verhältnis einer Kugel zum umschriebenen Würfel — gut übereinstimmt. Besondere Erwähnung verdient hier die vom Verfasser angewandte Mittelwertbildung aus den Konstanten einer größeren Anzahl verschiedener Substanzen, die er damit rechtfertigt, daß er sagt, bei allen Theorien seien bisher offenbar infolge Nichtbeachtung der spezifisch chemischen Eigenschaften der Stoffe stets mehr oder weniger große Abweichungen gefunden worden; durch eine Mittelung werde der Einfluß der chemischen Eigenschaften eliminiert und man erhalte daher auf diese Weise die Konstanten für den „idealen physiko-chemischen Stoff“. Unter dieser entschieden neuen Theorie enthaltenden Begründung wird das Verfahren der Mittelwertbildung in der ganzen Abhandlung in konsequenter Weise durchgeführt.

Nachdem die Raumerfüllungszahlen nach den bisher dafür üblichen Verfahren ermittelt sind, wendet sich der Verfasser im zweiten Buche der Frage zu, ob die Ionenbeweglichkeiten nicht zu dem gleichen Resultat zu führen vermögen. Man kann ja die Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen sehr gut messen und kennt dabei die auf das einzelne Ion wirkende Kraft. Es fragt sich nur noch, ob man zur Berechnung der Ionengröße das eigentlich nur für verhältnismäßig voluminöse feste Körper abgeleitete Stokessche Gesetz, das die Geschwindigkeit einer in einem widerstehenden Mittel bewegten Kugel in ihrer Abhängigkeit von der wirkenden Kraft, dem Kugelradius und dem Reibungskoeffizienten des Mediums angibt, auf die Ionen anwenden darf. Die Berechtigung zu diesem Schritte, zu dem übrigens *Einstein* den Verfasser ermuntert hat, wird, wenigstens für größere Ionen, nachgewiesen. Es werden nämlich der Reihe nach verschiedene Gruppen von Ionen, und zwar ein- und zweiwertige organische Kationen, einwertige organische Anionen, komplexe anorganische Salze sowie ein-, zwei- und dreiwertige kleinere anorganische Ionen untersucht. Unter kritischer Sichtung des Zahlenmaterials kommt der Verfasser zu dem Schluß, daß sich für die größeren Ionen 0,47 als Mittelwert der Raumerfüllungszahl in recht guter Übereinstimmung mit dem vorher nach anderen Verfahren bestimmten ergibt, während allerdings für die kleineren Ionen die Stokessche Theorie vollständig versagt.

Die folgenden Bücher befassen sich deshalb gerade mit den zuletztgenannten Ausnahmen. Das dritte Buch enthält in der Hauptsache eine Zusammenstellung aller älteren Verfahren zur Ermittlung des molaren Grenzleitvermögens und sucht den Nachweis zu führen, daß keine dieser Theorien eine rationelle Lösung des Problems darstellt.

Das vierte Buch ist einer ausführlichen Darstellung der moderneren Theorien gewidmet, wobei diejenigen von *Paul Hertz* und *Ghosh* in ihrer Leistungsfähigkeit miteinander verglichen werden. Von praktischer Bedeutung ist die Anweisung zur einfachen graphischen Auswertung von Leitfähigkeitsmessungen zum Zweck der Berechnung des Grenzleitvermögens nach der Theorie von *Paul Hertz*.

Im fünften Buch wird nochmals die Frage nach der Gültigkeit der Stokesschen Formel, nunmehr für kleine Ionen und verschiedene Lösungsmittel aufgerollt. Unter Verwendung der Stokes-Einsteinschen Diffusionstheorie wird für Quecksilber, geschmolzene Salze und verschiedene organische Flüssigkeiten als Lösungsmittel der Diffusionskoeffizient gelöster Stoffe bestimmt und daraus die Größe der gelösten Teilchen berechnet. Auch die Waldensche Regel, nach der das Produkt aus Grenzleitvermögen und Reibungskoeffizient des Lösungsmittels konstant sein soll, wird zur Stütze der Theorie herangezogen. Es zeigt sich, daß die nach *Stokes-Einstein* berechneten Ionenradien sich mit dem verwandten Lösungsmittel ändern; sie werden um so kleiner gefunden, je kleiner die Molekeln des diffundierenden Stoffes im Vergleich zu denjenigen des Lösungsmittels sind, so daß die richtigsten Werte für verhältnismäßig große Molekeln zu erwarten sind.

Das besonders wichtige letzte Buch wendet sich nun der Frage zu, warum für die kleinen Ionen die gefundenen Ionenbeweglichkeiten nicht mit der Theorie übereinstimmen. Es werden alle neueren Theorien einschließlich der Hydratationstheorie zunächst kurz erörtert. Dann wird gezeigt, wie die Bornsche Theorie, die aus einer vom Verfasser gegebenen Anregung entstanden ist, unter rechnerischer Verwertung der Dipolnatur lösender Flüssigkeiten das Problem der Ionenreibung elektrodynamisch zu lösen vermag und zu richtigen Ionenradien für die Alkalimetalle führt. Schließ-



lich werden die gefundenen Resultate diskutiert und in einer Tabelle alle bisher gefundenen Ergebnisse für die Alkalimetalle zusammengestellt: 1. für die Größe der neutralen Atome, 2. für die Raumbbeanspruchung der Ionen, die man vielleicht als Größe ihrer Wirkungssphären bezeichnen könnte, 3. für die Raumerfüllung der Ionen, die wahre Ionengröße, die sich nach dem neuen Berechnungsverfahren in der richtigen Reihenfolge, nämlich mit dem Atomgewicht wachsend, und auch zahlenmäßig ziemlich richtig ergibt. Ganz zuletzt kehrt Lorenz zur Elektrolyse geschmolzener Salze zurück, deren Erforschung einen großen Teil seiner Lebensaufgabe gebildet hat, und da erkennt der Leser, daß er die schönen Ergebnisse einer Fortsetzung dieser Arbeit in Händen hat.

Das Buch ist nicht populär geschrieben und will wohl auch nicht populär erscheinen. Es bietet aber jedem, der mit den Grundlagen der physikalischen Chemie einigermaßen vertraut ist, eine solche Fülle des Neuen und Interessanten, daß seine Lektüre wärmstens empfohlen werden kann. Wer insbesondere selber auf dem Gebiete des Leitvermögens wissenschaftlich arbeiten will, wird das Buch als unentbehrlichen Ratgeber verwenden müssen.

Besonders erwähnenswert sind einmal die zahlreichen Tabellen, die ein großes, mühevoll zusammengetragenes Zahlenmaterial enthalten, vor allem aber die vielen, als Fußnoten angebrachten Literaturnachweise, die ein Nachsehen in der Originalliteratur erleichtern.

Wenn der Verfasser zwei Spezialisten, nämlich *J. I. van Laar* über „Raumerfüllung und Zustandsgleichung“ und *P. Lortès* über den „Dipolrotations-effekt bei dielektrischen Flüssigkeiten“, selber hat zu Worte kommen lassen, so gereicht dies dem Buche, da es sich um abgeschlossene Kapitel handelt, keineswegs zum Nachteil.

A. Magnus, Tübingen.

**Dessau, Bernhard, Lehrbuch der Physik.** Vom Verfasser aus dem Italienischen übertragen. 1. Band. Mechanik, Akustik, Wärmelehre. Leipzig, Joh. Ambr. Barth, 1922. IV, 667 S. und 490 Abbildungen. Preis geh. M. 160,—; geb. M. 190,—.

Vorweg sei gesagt, daß das vorliegende Werk nicht das tiefe Bedürfnis der Physik nach einem wirklich modernen Lehrbuch erfüllt, das man den Studierenden der Physik — sei es im Haupt- oder Nebenfach — gestrost als Ergänzung zu einer in modernem Geiste gehaltenen Vorlesung anempfehlen kann. An sich ist ja in Deutschland kein Mangel an Lehrbüchern der Experimentalphysik, aber fast durchweg handelt es sich bei den besten derselben um ältere Werke, in deren neue Auflagen gewisse Ergebnisse der modernen Forschung mehr oder weniger notdürftig eingefügt wurden, während die außerordentliche Wandlung der physikalischen Anschauungen in den letzten 25 Jahren auch einen ganz neuen Aufbau des Stoffes und eine ganz andere Auswahl des Gebotenen dringend erheischt. Andernfalls wird, wie dies jeder mit der Zeit fortschreitende Dozent der Physik täglich erleben kann, ein die Lernenden auf das höchste verwirrender Zwiespalt zwischen Vorlesung und Lehrbuch entstehen. Der Studierende hört moderne Physik und lernt bzw. paukt für das Examen nach Büchern, deren Stand im wesentlichen der Zeit um das Jahr 1900 entspricht. Als ein besonderer Übelstand ist es zu bezeichnen, daß die Werke der genannten Art eine Menge Urväterhausrat mitschleppen, deren Betrachtung im Rahmen der älteren Physik üblich und vielleicht auch nützlich war, die aber aus einer modernen Vorlesung — schon

aus Mangel an Zeit für die quellende Fülle des sonstigen, wesentlichen Stoffes — längst verbannt sind.

Von den genannten Fehlern ist auch das Buch von Dessau in keiner Weise frei. Es bedeutet keinen Schritt vorwärts, und an diesem Urteil kann auch die Tatsache nichts ändern, daß der Verf. sich offensichtlich vielfach bemüht, moderne Anschauungen für die Erklärung einer Erscheinung nutzbar zu machen. In der Anlage der einzelnen Abschnitte fehlt die große Linie, und der Leser ertrinkt in der Fülle von Einzelheiten, deren innerer Zusammenhang ungenügend herausgearbeitet ist. Stellenweise wird an Einzelheiten vielzuviel geboten. Ich kann mir schwer vorstellen, daß es einem Studierenden gelingen sollte, nach diesem Buche Physik zu lernen. Dem Verf. ist es nicht gelungen, den Weg zu finden, auf dem allein ein Lehrbuch für den Lernenden wirklich nützlich gestaltet werden kann: die großen, allgemeinen Gesetze und Gesichtspunkte herauszuarbeiten, aus denen dann die zahllosen Einzelheiten mehr oder minder zwangsläufig folgen.

Es soll nicht verkannt werden, daß es dem Verf. in manchen Einzelheiten gelungen ist, neue und einfache Darstellungen und Ableitungen zu geben, so z. B. bezüglich der Tatsache, daß die Eigenschaft der Gravitation als einer Zentralkraft schon allein aus dem zweiten Keplerschen Gesetz folgt. Zu begrüßen ist es, daß die Begriffe des Kraftfeldes, Potentials usw. bereits bei der Gravitation eingeführt werden, und manches andere mehr. In zahlreichen Fällen aber stößt der aufmerksame Leser auf bedenkliche Ungenauigkeiten. So ist z. B. die Erörterung über den zweiten Hauptsatz in vielen Punkten recht anfechtbar. Die van der Waals'sche Gleichung wird für ein beliebiges Volumen, aber in der für das Molvolumen üblichen Form hingeschrieben. Es fehlt die in einem elementaren Lehrbuch notwendige Unterscheidung zwischen träger und schwerer Masse. Trotz vielfacher Erwähnung und Benutzung der Atomtheorie wird auf die Theorie der Kristallgitter nicht eingegangen. Lösungen und Mischungen werden als etwas Identisches hingestellt.

Mit der nötigen Kritik verwendet, wird das Buch in manchen Fällen als Nachschlagewerk nützliche Dienste tun können. Auch die eine oder andere Art der elementaren Ableitung (ohne Benutzung der Differential- und Integralrechnung) wird im Unterricht mit Nutzen verwertbar sein. Als eine wesentliche Bereicherung der physikalischen Literatur kann das Buch jedoch nicht bezeichnet werden.

Wilh. Westphal, Berlin.

**Förster, Fritz, Elektrochemie wässriger Lösungen.**

Dritte vermehrte und verbesserte Auflage. Leipzig, J. A. Barth, 1922. XX, 900 S. und 185 Abbildungen. Preis geh. M. 200,—; geb. M. 230,—.

Es ist mehrfach darauf hingewiesen worden, daß die Prognose, welche der Elektrochemie nach ihren ersten technischen Erfolgen gestellt worden ist, sich als zu weitgehend erwiesen hat. Einige metallurgische Prozesse und die technische Chloralkalielektrolyse sind wohl zu sicherer Durchführung im größten Maßstabe ausgestaltet worden; in einer Reihe von Fällen aber mußten die Versuche, die chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes technisch nutzbar zu machen, wieder aufgegeben werden, da andere Wege sich als bequemer zugänglich oder ökonomischer erwiesen. Wenn aber die technischen Erfolge sich nicht so mühe-los bieten wollen, wie es zuerst den Anschein hatte, so besteht doch Aussicht, daß weitere theoretische Durch-

arbeitung verschiedener Teilgebiete hier zu neuem Gewinn führen wird.

Als wertvolles Hilfsmittel in solcher Richtung hat sich das vorliegende Werk bereits in zwei Auflagen bewährt. Die Neuerungen, welche die dritte Auflage gegenüber den früheren aufweist, betreffen denn auch weniger technische Anwendungen, als die theoretischen Grundlagen der Elektrochemie. Scheint es doch, als ob die neuen Erkenntnisse von der Struktur der Materie in das seit längerer Zeit etwas stagnierende Gebiet Bewegung bringen sollten. Der Vorgang der elektrolytischen Dissoziation und das Wesen der Ionen sind mit erneutem Interesse behandelt worden. Förster berichtet über diese Untersuchungen, wobei man allerdings ein näheres Eingehen auf die Theorien von Bjerrum und von Paul Hertz wünschen könnte, die nur kurz erwähnt werden; vor allem aber auf die — von Nernst in der neuen Auflage seines Lehrbuches mit besonderem Nachdruck hervorgehobene, nunmehr auch in deutscher Sprache ausführlich dargestellte — Theorie von Gosh, die überhaupt nicht genannt wird. — Eine der Bedeutung des Gegenstandes entsprechende Erörterung finden die von R. Lorenz aufgedeckten Gesetzmäßigkeiten der Ionenbeweglichkeit, nach welchen die Beweglichkeit zahlreicher Ionen ihrem Radius umgekehrt proportional ist. Auch die interessante Deutung wird gebracht, mit welcher Born die Abweichung der einfachen anorganischen Ionen von dieser Gesetzmäßigkeit erklärt und die ihn zur Berechnung der wahren Atomradien führt gegenüber den scheinbaren, d. h. den durch elektrostatische Anziehung der Dipolmoleküle des Wassers vergrößerten Radien.

Beim anodischen Verhalten der Legierungen sind neu eingefügt die Untersuchungen Tammanns über die Schutzwirkung, welche die Beimengung eines edleren Metalls auf ein unedleres ausübt. Bei der Deutung dieser „Resistenzgrenzen“ durch Annahme der Verteilung der Metallatome im Raumgitter wäre allerdings künftig die Untersuchung von Masing zu erwähnen, welche zeigt, daß das Bestehen scharfer Resistenzgrenzen allein noch nicht mit Notwendigkeit zur Annahme regelmäßiger Atomverteilungen in Mischkristallen zu führen braucht.

Eine Reihe von Änderungen findet sich in dem Kapitel über die Elektrosmose. Es werden deren Gesetze besprochen, sodann das Verhalten kolloider Lösungen zum elektrischen Strom, endlich die Nutzanwendungen der Adsorption und der Elektrosmose bzw. Elektrophorese. Die Darstellung gibt damit ein gutes Bild des augenblicklichen Standes unserer Kenntnisse über dieses interessante, zu weiterer theoretischer Durcharbeitung bereit liegende und für neue technische Nutzanwendungen aussichtsvolle Gebiet. Beiläufig möchte der Referent bemerken, daß die neu eingefügten eigenartigen Versuche von Loeb über die Anfangserscheinungen bei der Elektrosmose verschieden konzentrierter Lösungen in der gewählten Darstellungsform nicht gut zu verstehen sind.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die neue Auflage des vortrefflichen Werkes von Förster von den Fachgenossen ebenso beifällig aufgenommen werden wird wie die beiden vorhergehenden.

Alfred Coehn, Göttingen.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Über Ozon.]

Es ist seit langem (Hautefeuille und Chappuis 1880, Olszewsky, 1887 usw.) bekannt, daß sich ozonhaltiger Sauerstoff durch Abkühlung mit flüssiger Luft als

dunkelblaue Flüssigkeit kondensieren läßt. Durch fraktionierte Verdampfung kann man in dieser den Ozongehalt anreichern und erhält schließlich eine auch in dünner Schicht schon nahezu undurchsichtige Flüssigkeit, deren Siedepunkt bei Atmosphärendruck zwischen  $-106^{\circ}\text{C}$  (Olszewsky) und  $-119^{\circ}\text{C}$  (Troost) liegt. Von einer näheren Untersuchung dieser Flüssigkeit aber schreckten die heftigen Explosionen ab, die Dewar, Ladenburg u. a. beobachteten. Auch die im Gegensatz hierzu stehende Beobachtung Erdmanns, daß diese Flüssigkeit eigentlich gar nicht explosiv sei, reizte bisher noch keinen, die Probe auf dieses Exempel zu machen. Wir taten es und konnten den Erdmannschen Befund bis zu einem gewissen Grade bestätigen. Bei Vermeidung selbst der kleinsten Spuren zersetzend wirkender Katalysatoren (z. B. Äther), schneller Drucksteigerung oder Erwärmung ist uns flüssiges Ozon bisher niemals explodiert. Daher wagten wir es, an die Reindarstellung des Ozons und die Untersuchung dieser höchst interessanten Substanz zu gehen und machten hierbei u. a. folgende Beobachtungen von allgemeinem Interesse:

Kühlt man das Ozonsauerstoff-Gemisch auf mehr als  $-158^{\circ}\text{C}$  ab, so trennt sich die Flüssigkeit in eine lichtblaue, leichtere und eine tiefdunkelblaue, bedeutend schwerere Schicht. Erstere ist eine Lösung von Ozon in Sauerstoff, letztere eine Lösung von Sauerstoff in Ozon. Bei Temperaturerhöhung nimmt die gegenseitige Löslichkeit zu und wird schließlich vollständig. Unterhalb etwa  $-158^{\circ}$  aber besitzen  $\text{O}_2$  und  $\text{O}_3$  nur eine beschränkte gegenseitige Löslichkeit. Im Vakuum verdampft unterhalb dieser Temperatur zunächst die Sauerstoffphase und es bleibt die Ozonphase, die noch immer etwa 30 % Sauerstoff enthält, zurück. Von dieser Lösung ausgehend kommt man durch fraktionierte Destillation zu einer Flüssigkeit, die auf je 1 Mol. inaktiven Sauerstoff je  $\frac{1}{2}$  Mol. aktiven, also z. B. mit neutraler Jodkaliumlösung lebhaft reagierenden, enthält. Die Dampfdichte des sich aus dieser einheitlichen Flüssigkeit entwickelnden Gases entspricht der Formel  $\text{O}_3$ . Durch Abkühlen in flüssigem Wasserstoff gelingt es, dieses blaue Ozon zur Kristallisation zu bringen. Es bilden sich blauschwarze Kristalle, die schon wenige Grade über dem Siedepunkt des Wasserstoffs, also etwa  $-250^{\circ}\text{C}$ , schmelzen. Beim Verdampfen der Flüssigkeit entsteht ein tiefblau gefärbtes Gas von einer überraschenden Farbintensität. In Glasröhrchen eingeschmolzen, behält es auch beim Aufbewahren an Licht und bei Zimmertemperatur oft wochenlang seine Färbung unverändert bei. Freilich wurden bisweilen Explosionen beobachtet, wenn flüssiges Ozon in sehr dünnwandige Röhrchen eingeschmolzen wurde und diese dann infolge des bei ihrer Erwärmung auftretenden, mehrere Atmosphären betragenden Überdruckes platzten. Aber auch in solchen Fällen blieb bisweilen das Gas noch unzersetzt. Diese Erfahrungen lehrten, daß man in dickwandigeren Röhrchen gefahrlos die kritischen Erscheinungen des Ozons beobachten kann. Dies geschah und es wurde die kritische Temperatur zu  $-13^{\circ}\text{C}$  bestimmt. Da es aber nicht sicher ist, ob sich nicht hierbei etwas Ozon zersetzt hatte, so kann die kritische Temperatur des reinen Ozons auch noch einige Grade höher liegen.

Im folgenden sind die wichtigsten physikalischen Daten der beiden Sauerstoffmodifikationen zusammengestellt:

|                  | Schmelztemp.       |        | Siedetemp.         |         | kritische Temp.    |         |
|------------------|--------------------|--------|--------------------|---------|--------------------|---------|
|                  | $^{\circ}\text{C}$ | abs.   | $^{\circ}\text{C}$ | abs.    | $^{\circ}\text{C}$ | abs.    |
| $\text{O}_2$     | -227               | 46     | -183               | 90      | -118               | 155     |
| $\text{O}_3$ ca. | -250               | ca. 20 | ca. -110           | ca. 160 | ca. -10            | ca. 260 |



Der große Unterschied auch der physikalischen Konstanten dieser beiden Modifikationen ist bemerkenswert und läßt es vollkommen ausgeschlossen erscheinen, daß etwa eine dritte Sauerstoffmodifikation (z. B. Oxozone,  $O_4$ ) mit dem Ozon ähnlichen physikalischen Eigenschaften existieren könnte. Die Bildung eines solchen Stoffes würde also einem aufmerksamen Beobachter nicht entgehen. Aber obwohl wir auch unter den Bedingungen arbeiteten, unter denen sich Oxozone bilden soll, konnten wir bisher keine Anzeichen für seine Entstehung finden.

Berlin, den 2. April 1922.

E. H. Riesenfeld und G. M. Schwab.

## Astronomische Mitteilungen.

Die Beziehung zwischen der absoluten Helligkeit von Fixsternen und deren räumlicher Geschwindigkeit ist von W. S. Adams, G. Strömberg und A. H. Joy von neuem untersucht worden. (The relationship of absolute magnitude to space velocity. Contributions from the Mt. Wilson Observatory Nr. 210 und Astrophysical Journal Vol. 54, S. 9, 1921.) Infolge der zahlreichen auf spektroskopischem Wege erhaltenen Sternparallaxen<sup>1)</sup> konnten der Untersuchung 1350 Sterne vom Spektraltypus *F*, *G*, *K* und *M* zugrunde gelegt, und dadurch die Ergebnisse früherer ähnlicher Untersuchungen bestätigt und erweitert werden. Durchweg zeigen die absolut hellsten Sterne die kleinste Geschwindigkeit, und zwar gilt dies sowohl für die räumliche Geschwindigkeit überhaupt, als auch für die tangentielle und radiale Geschwindigkeit getrennt. Das arithmetische Mittel der räumlichen Geschwindigkeiten beträgt bei den Sternen der absoluten Größe  $-2$  (bezogen auf eine Parallaxe von  $0,1$  als Entfernungseinheit) für alle Spektralklassen zusammen  $22$  km pro Sekunde; für Sterne der absoluten Größe  $10$  steigt dieser Wert auf  $75$  km an. Trennt man die Geschwindigkeiten nach einzelnen Spektralklassen, so ergibt sich bei den helleren Sternen eine geringe Zunahme von *F* bis *M*. Für die schwächsten Sterne, die den Zwergsternen der Klassen *K* und *M* zugehören, ist die Geschwindigkeitszunahme mit abnehmender Helligkeit weniger deutlich ausgeprägt; hier kann man die beobachteten Geschwindigkeiten auch durch einen konstanten Wert darstellen.

Die räumliche, von der Sonnenbewegung befreite Geschwindigkeit der Sterne zeigt keine Bevorzugung irgendeiner Richtung. Untersucht man die prozentuale Häufigkeit verschieden großer Geschwindigkeiten für die einzelnen Spektralklassen, so folgt, daß große Geschwindigkeiten weit häufiger vorkommen, als nach dem für Gasmoleküle geltenden Maxwell'schen Verteilungsgesetz der Geschwindigkeiten zu erwarten wäre. Doch läßt sich aus den Beobachtungen ein mathematisch ähnliches Gesetz herleiten, in welches an Stelle der Geschwindigkeit deren Logarithmus tritt.

Zweifelloso haben wir es bei diesen Ergebnissen mit sehr wichtigen, empirisch gefundenen Gesetzmäßigkeiten zu tun, für deren Deutung uns heute allerdings noch der Schlüssel fehlt. Höchstens können wir annehmen, daß innerhalb derselben Spektralklasse und desselben Spektralcharakters die absolut helleren Sterne auch die größere Masse besitzen. Danach hätten also für die untersuchten Spektralklassen die Sterne größerer Masse eine kleinere Geschwindigkeit als solche kleinerer Masse.

Das lokale System und die Sterne der Spektralklasse *A*. Nach früheren Arbeiten H. Shapleys sind die hellen Sterne vom Spektraltypus *B*, die eine Häufung gegen die Milchstraße hin zeigen, nicht symmetrisch zur Ebene der Milchstraße selbst, sondern symmetrisch zu einer um etwa  $12^\circ$  dagegen geneigten Ebene angeordnet. Shapley schloß hieraus, daß die der Sonne nächsten Sterne einen in sich abgeschlossenen Sternhaufen bilden, der in das allgemeine galaktische System eingeordnet ist, und dessen Symmetrieebene nicht völlig mit der galaktischen Ebene zusammenfällt<sup>2)</sup>. H. Shapley dehnt nun gemeinsam mit Annie A. Cannon diese Untersuchung auch auf die frühen Gruppen der Spektralklasse *A* aus. (The local system and stars of class *A*. Harvard College Observatory Circular 229.) Die hierbei benutzten 2450 hellen Sterne, für deren untere Grenze die scheinbare Größe  $6,5$  gewählt wurde, sind symmetrisch zu einer Ebene angeordnet, welche gegen die Milchstraßenebene um etwa  $5^\circ$  geneigt ist. Der Neigungswinkel ist hier also kleiner als bei den *B*-Sternen. Man kann jedoch die hellen *A*-Sterne in zwei Gruppen teilen, von denen die eine dieselbe Symmetrieebene wie die *B*-Sterne besitzt, die andere symmetrisch zur galaktischen Ebene liegt. Die schwächeren *A*-Sterne (vom Typus  $A_0$ ) sind, wie Shapley erwähnt, sämtlich symmetrisch zur galaktischen Hauptebene geordnet.

Diese Untersuchung scheint das Vorhandensein einer begrenzten Sternwolke in der Nähe der Sonne zu bestätigen, zu welcher außer den hellen *B*-Sternen auch ein Teil der hellen *A*-Sterne zu rechnen wäre. Die übrigen *A*-Sterne würden dem allgemeinen System angehören. Doch ist die Trennung der hellen *A*-Sterne in zwei Gruppen nicht recht befriedigend. Wir müssen wohl erst die Ergebnisse, welche die Bearbeitung der übrigen Spektralklassen liefern wird, abwarten, bevor weitere Schlüsse gezogen werden können.

A. Kopff.

### Kosmische Absorption und Dispersion des Lichtes.

Durch die neueren Untersuchungen über kugelförmige Sternhaufen ist auch über die Existenz einer Absorption und Dispersion des Lichtes im Weltenraum entschieden worden. In Anbetracht der außerordentlich weitreichenden Bedeutung, die diese Frage sowohl für die Deutung individueller Erscheinungen wie für die Erforschung der Ausdehnung und der Struktur unseres Sternsystems hat, ist ihr bereits seit längerer Zeit viel Aufmerksamkeit gewidmet worden. Merkwürdigerweise sind die neuen negativen Resultate gerade durch die Methoden erreicht worden, die im Anfang zu der Vermutung geführt hatten, daß eine geringe, aber merkliche Absorption vorhanden sei. Der Absorption ist durch Beobachtung nicht beizukommen, deshalb richten sich alle Versuche darauf, die mit der Absorption verbundene Dispersion aufzudecken. Wenn die Dispersion in demselben Sinne wirkt, wie es in materiellen Medien der Fall ist, dann ist bei jeder den Raum durchziehenden Strahlung ein Voreilen der langwelligen Strahlung zu erwarten. Daraus würde folgen, daß jedes momentane Ereignis im Weltenraum uns durch langwellige Strahlen um einen geringen Zeitbetrag früher bekannt wird als durch kurzwellige Strahlen. Diese Überlegung hat man benutzt, um zu einem Kriterium für die Existenz einer Lichtabsorption zu kommen. Anfangs dachte man z. B. daran, daß auf diese Weise ja beim Eintritt eines Jupitermondes in den Schatten des Jupiter im letzten Moment vor dem Verschwinden nur blaues Licht übrig

<sup>1)</sup> Vgl. „Die Naturwissenschaften“, 9. Jahrg., 1921, S. 598.

<sup>2)</sup> Vgl. „Die Naturwissenschaften“, 9. Jahrg., 1921, S. 224.



sein müßte, aber man hat sich sehr schnell davon überzeugt, daß die Geschwindigkeitsdifferenz der roten und violetten Strahlen auf jeden Fall so gering ist, daß sie erst auf viel längeren Lichtwegen merklich werden kann.

Eine Möglichkeit, längere Lichtwege zu untersuchen, bieten geeignete veränderliche Sterne, besonders Bedeckungsveränderliche, bei denen im Falle einer größeren Geschwindigkeit des roten Lichtes jede Phase des Lichtwechsels, insbesondere also das Lichtminimum, auf einen früheren Zeitpunkt fallen muß, wenn im roten Lichte beobachtet wird, als bei Beobachtung im blauen Lichte. Die ersten Untersuchungen dieser Art (an Algol und  $\lambda$  Tauri) wurden mit Hilfe von Flüssigkeitsfiltern angestellt und führten zu dem Ergebnis, daß Unterschiede von 13 bzw. 30 Minuten für den Zeitpunkt des Minimums vorhanden sind, (Nordmann). Zwei andere Sterne ergaben für die Verschiebung denselben Sinn (Tikhoff).

Ganz dieselbe Überlegung paßt auf die Ableitung der Radialgeschwindigkeiten aus Linienverschiebungen im roten und violetten Gebiete des Spektrums. Auch hier müssen sich bei spektroskopischen Doppelsternen für jede Phase der Radialgeschwindigkeit im violetten und im roten Gebiete abweichende Zeitpunkte ergeben. Bei  $\beta$  Aurigae schien eine solche Verschiebung um 10 bis 20 Minuten vorzuliegen (Belopolsky, Tikhoff).

Wie sich aus den neuen negativen Resultaten ergibt, müssen für diese Phasenverschiebungen andere Ursachen angenommen werden, sofern diese nicht bereits in den Beobachtungen selbst liegen. Auf anderem Wege ist auch Schlesinger auf solche Phasendifferenzen gestoßen. Wenn in einem Doppelsternsystem aus Radialgeschwindigkeitsmessungen die Bahnelemente bekannt sind, so läßt sich der Zeitpunkt errechnen, in welchem (falls die Blicklinie in die Bahnebene fällt) beide Komponenten in der Visierlinie liegen. Dieser Zeitpunkt müßte, da es sich ja in einem solchen Falle um einen Bedeckungsveränderlichen handelt, mit dem Zeitpunkt des Lichtminimums zusammenfallen, der sich aus photometrischen Beobachtungen ergibt. Sowohl bei Algol wie bei  $\delta$  Librae jedoch fand Schlesinger Differenzen zwischen diesen aus verschiedenen Beobachtungsquellen stammenden Zeitangaben für dieselbe Phase der Bahnbewegung, die sich nicht durch Unsicherheiten der Beobachtungsmethoden begründen lassen. Eine kosmische Dispersion kommt aber als Ursache dieser Erscheinung nicht in Frage. Die aus Radialgeschwindigkeiten herührenden Werte beziehen sich nämlich bei  $\delta$  Librae auf die Wellenlänge 4200 Å, die visuell gemessenen photometrischen Werte auf 5700 Å. Da die langwelligen Strahlen schneller laufen sollten als die kurzwelligen, müßte die spektroskopische Phase der photometrischen folgen, sie geht ihr aber um mindestens eine Stunde voran.

Bei der neuesten von Shapley mitgeteilten Untersuchung<sup>1)</sup> handelt es sich wieder um veränderliche Sterne, aber um einen bedeutend längeren Lichtweg. Der kugelförmige Sternhaufen Messier 5 hat eine Entfernung von 12 000 Sternweiten (1 Sternweite oder parsec =  $30,7 \cdot 10^{12}$  km). Ein Geschwindigkeitsunterschied der roten und blauen Strahlen, der bei Algol mit etwa 150 Lichtjahren Entfernung schon 13 Minuten Phasenverschiebung verursachte, würde auf diesem Lichtwege von 40 000 Jahren ein Voreilen der roten Strahlen um mehrere Perioden dieser Veränderlichen, um 12 Stunden herum liegen, bedingen. Der Zeit-

punkt des Lichtmaximums oder in anderen Fällen des Durchgangs durch eine mittlere Helligkeit kann infolge des schnellen Anstiegs dieser Cluster-Veränderlichen vom Minimum zum Maximum mit einer sehr großen Sicherheit (bis auf einige Minuten) aus der Lichtkurve bestimmt werden. Werden zwei Reihen von Aufnahmen gemacht, die eine mit blauempfindlichen ( $0,45 \mu$ ), die andere mit gelbempfindlichen ( $0,55 \mu$ ) Platten, und wird dann aus jeder der beiden Reihen für jeden Stern eine Lichtkurve konstruiert, so entscheidet die Phasendifferenz dieser photographischen und photovisuellen Lichtkurven über die Dispersion der blauen und gelben Strahlen. Aus 21 Sternen, für die solche doppelten Lichtkurven zu benutzen waren, ergibt sich im Mittel die Differenz:

$$P_g - P_v = +0,0004 \pm 0,0008 \text{ (wahrscheinlicher Fehler).}$$

Der Betrag von 0,0004 Tagen = 35 Sekunden liegt durchaus innerhalb der durch den wahrscheinlichen Fehler angegebenen Fehlergrenzen. Das Resultat besagt also, daß eine Geschwindigkeitsdifferenz von Strahlen verschiedener Wellenlänge, also eine kosmische Dispersion, auch auf so enorm langen Lichtwegen nicht nachzuweisen ist. Wie groß die Sicherheit dieser Aussage ist, läßt sich mit Hilfe des wahrscheinlichen Fehlers von 0,0008 Tagen = 69 Sekunden abschätzen:

Wenn überhaupt eine Geschwindigkeitsdifferenz vorhanden ist, so ist sie doch so klein, daß Lichtstrahlen, deren Wellenlängen sich um 20 % unterscheiden, 40 000 Jahre lang laufen können, ohne mehr als höchstens 2 Minuten gegeneinander zu verlieren.

Für die Geschwindigkeit, den in 1<sup>s</sup> zurückgelegten Weg, bedeutet das: Die Wahrscheinlichkeit, daß zwei solche Strahlen ( $0,55 \mu$  und  $0,45 \mu$ ) um weniger als 5 cm auseinanderlaufen, ist 20mal so groß wie für einen größeren Betrag. Daß eine Verzögerung von weniger als 1 s in 300 Jahren eintritt, ist immer noch 5mal so wahrscheinlich wie das Gegenteil. Während die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit immer noch mit einer Unsicherheit von  $\frac{1}{10000}$  ihres Betrages behaftet ist, läßt der wahrscheinliche Fehler des Shapley'schen Resultates für die Gleichheit der Geschwindigkeit blauen und gelben Lichtes nur noch eine Unsicherheit von  $10^{-10}$  der Lichtgeschwindigkeit zu.

Diese Untersuchungen liefern eine Bestätigung der Überzeugung, die man auch aus dem Studium der Farbenindices in kugelförmigen Sternhaufen gewonnen hat. Wenn eine Extinktion des Lichtes im Weltenraum stattfindet, ist sie mit der Wellenlänge veränderlich. Auf so langen Lichtwegen würde die violette Strahlung viel mehr geschwächt werden als die rote. Eine solche selektive Absorption würde also bewirken, daß im Durchschnitt die Sterne um so gelber erscheinen, je weiter sie entfernt sind. Wenn die Absorption auch nur 0,0001 Größenklassen pro Sternweite betragen würde, könnte uns in den Sternhaufen mit 10 000 bis 100 000 Sternweiten Entfernung überhaupt kein Stern mehr so weiß erscheinen, wie es die Sterne des Spektraltypus B in unserer Umgebung zeigen. Tatsächlich treten aber in den kugelförmigen Haufen die Sternfarben in genau der gleichen Verteilung auf, wie in dem engeren Sternsystem, das uns umgibt.

Nach diesen Ergebnissen kann es wohl als berechtigt erscheinen, die Absorption des Lichtes im Weltenraum als unmerklich zu betrachten. Es ist damit natürlich nicht ausgemacht, welchen Einfluß in manchen Richtungen wirklich vorhandene kosmische Staubwolken auf Sternabzählungen usw. für begrenzte Himmelsteile ausüben.

Kruse.

<sup>1)</sup> Harvard College Observatory, Bulletin 763.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaften

herausgegeben von

**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 20. (Seite 473—488)

19. Mai 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Theoretische Biologie und biologisches Weltbild.  
Von *Leon Asher, Bern.* S. 473.

Neuere Ergebnisse der Gliedmaßenpfropfungen:  
Umwandlung eines rechten Beines in ein linkes.  
(Mit 5 Abbildungen.) Von *Hermann Braus, Würzburg.* (Schluß.) S. 477.

C. V. L. Charliers Untersuchungen über den Aufbau  
einer unendlichen Welt. Von *W. E. Bernheimer, Wien.* (Mit 1 Abbildung.) S. 481.

Metallographische Mitteilungen: S. 484—487.

Röntgenkristallographische Untersuchungen an  
Eisen und Stahl. (Mit 1 Abbildung.) Die Frage  
der  $\beta$ -Modifikation und die mechanischen Eigen-  
schaften des Eisens. (Mit 2 Abbildungen.) Wir-  
kung reduzierender Gase auf erhitztes Kupfer.

Astronomische Mitteilungen. S. 487—488.

Die periodische Veränderlichkeit des Spektral-  
typus bei  $\delta$ -Cephei-Veränderlichen.



# GOERZ

*Largon-Brillengläser*

Bezug durch die Optiker. \* Druckschriften kostenfrei

**Optische Anstalt C. P. Goerz A.-G. Berlin-Friedenau 91.**

**Die Naturwissenschaften**

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 60.— für das zweite Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 6.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 650-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postscheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 2020 Julius Springer,  
Konten: für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

**Mikroskopische Präparate**

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

**J. D. Möller, Wedel in Holstein.**  
Gegründet 1864. (250)

**Naturwissenschaften 1920, Heft 27-52  
und Jahrgang 1921 zu kaufen gesucht**

von

**Dr. Sprenger, Daisburg-M., Siegfriedstraße 23.**

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

# Vorlesungen über vergleichende Anatomie

Von

**Otto Bütschli**

Professor der Zoologie in Heidelberg

1. Lieferung: Einleitung; Vergleichende Anatomie der Protozoen, Integument und Skelett der Metazoen. Mit Textfigur 1—264. (VIII, 402 S.) Unveränderter Neudruck. 1921. Preis M. 96.—\*
2. Lieferung: Allgemeine Körper- und Bewegungsmuskulatur; Elektrische Organe und Nervensystem. Mit den Textfiguren 265—451. (IV, 401—644 S.) Unveränderter Neudruck. 1921. Preis M. 87.—\*
3. Lieferung: Sinnesorgane und Leuchtorgane. Mit den Textfiguren 452 bis 722. (XIV, 643—931 S.) 1921. Preis M. 48.—\*

\* Hierzu Teuerungszuschlag



# DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zehnter Jahrgang.

19. Mai 1922.

Heft 20.

## Theoretische Biologie und biologisches Weltbild.

Von Leon Asher, Bern.

J. v. Kries gelangte in seinem tiefsinnigen Aufsatz „Über die zwingende und eindeutige Bestimmtheit des physikalischen Weltbildes“ (Die Naturwissenschaften 1920, S. 237) u. a. zu dem äußerst vorsichtigen Schluß über die Möglichkeit eines „endgültigen“ Weltbildes: „Es ist niemals zwingend gegeben, niemals ist die Möglichkeit auszuschließen, daß es noch andere geben könnte, die in gleichem Sinne berechtigt und befriedigend genannt werden könnten“. Diese beherzigenswerten Worte muß derjenige im Auge behalten, der, in den zurzeit vorherrschenden Grundlagen biologischer Denkweise wurzelnd, an Werke ganz anders gearteter Denkrichtung, wie Jakob von Uexkülls „Theoretische Biologie“ (Berlin, Gebrüder Paetel, 1920) und „Umwelt und Innenwelt der Tiere“ (Berlin, Julius Springer, 1921), herantritt.

Uexkülls „Theoretische Biologie“ ist ein groß und konsequent durchgeführter Versuch, die Biologie in ihrer Eigenart auf Lehrsätze aufzubauen, die ihr selbst angehören und ihre selbständige Stellung einerseits gegenüber den physikalisch-chemischen, andererseits den psychologischen Lehrgebäuden scharf abgrenzen. Der leitende Grundgedanke des Werkes ist der, daß die Biologie die Lehre von dem Planmäßigen, und zwar als einem überall nachweisbar waltenden Naturfaktor sei. Abgesehen von diesem Hauptgedanken dienen der Uexküllschen theoretischen Biologie folgende Grundlagen zum Aufbau seines „Gerüsts von Lehrsätzen“: die Kantsche Erkenntnistheorie, Johannes Müllers Gesetz der spezifischen Sinnesenergie und in einem gewissen Sinne Karl Ernst von Baers Lehre von der Zielstrebigkeit. Was die beiden ersteren anlangt, so ist Uexkülls biologische Weltauffassung wohl die konsequenteste, radikalste und vielleicht deshalb abschließende Durchführung von deren Gedankeninhalt zu Nutzen der Biologie, während die v. Baersche Lehre in einer von psychologischem Beiwerk geläuterten Form zur Auswirkung gelangt.

Die drei ersten Kapitel des Werkes, Raum, Zeit und die Inhaltsqualitäten, bauen die Erkenntnistheorie der Biologie auf. Uexkülls Fassung der Kantschen Raumlehre: „Der Raum verdankt sein Dasein der inneren Organisation des Subjektes Mensch, welche die Sinnesqualitäten in räumliche Form kleidet“, mag als Beispiel dienen, wie er, wenn auch fußend auf den obengenannten Grundlagen, eine selbständige biologische Analyse

des Weltbildes durchführt. Die Elemente des Raumes sind die Lokalzeichen und die Richtungszeichen, äußere sowie innere. Das Zugleichsein der Richtungszeichen ist die Form, in welcher sich der Raum, die Aufeinanderfolge der Richtungszeichen die Form, in welcher sich die Bewegung darstellt. Die Richtungszeichen kennen wir aus zwei Quellen, durch ihr Auftreten bei geeigneter Erregung der Lokalzeichen und bei der Innervierung unserer Muskeltätigkeit. Als zentrales Sinnesorgan für die Richtungszeichen erblickt Uexküll, hierin Cyon beistimmend, die halb-zirkelförmigen Kanäle des inneren Ohres. Die Realitäten der Physik, das Atom und seine Bewegung im Raum sind subjektive Qualitäten, indem das Atom als das Grundelement der diskontinuierlichen Materie auf das Lokalzeichen, die kontinuierliche Bewegung auf die Richtungszeichen zurückgeht. Der angeschaute Raum des Biologen besitzt außer den beiden schon genannten Bestimmungstücken der Lokalzeichen und Richtungszeichen noch ein drittes, den Entfernungsschritt, den eben noch erkennbaren Abstand zweier Punkte in der Tiefendimension. Um Feststellungen über den Raum der Tiere vorzunehmen, muß man sich ausschließlich an die Formen der Raumanschauungen halten unter Verzicht auf Aussagen über Art und Weise, wie das Tier in seinem Gemüt den Raum bewußt anschauen soll. Die Lokalzeichen sind genau wie die Sinnesqualitäten rein subjektiv, sobald aber das Lokalzeichen eine Verbindung mit irgendeiner Qualität eingeht, wird es zum objektiven Ort. Alle Gegenstände der Außenwelt sowie unser eigener Körper sind in diesem Sinne relativ objektiv, nur das Ich, als des eigenen Lokalzeichens entbehrend, bleibt notwendig subjektiv.

Als das spezifische Material für die Zeit wird, der Lehre K. E. von Baers folgend, der Moment erkannt, das Zeichen für die Phasen, in denen der Lebensprozeß der Apperzeption vor sich geht. Die Form der Momente ist die Zeit. Der planvolle Zusammenhang zwischen den Ausmaßen der räumlich wie zeitlich unendlichen Welt mit unseren menschlichen Alltagsbedürfnissen erklärt sich daraus, daß es unsere eigenen Qualitäten, die Moment-, Lokal- und Richtungszeichen sind, die das absolute Maß unserer Welt liefern und daß die Unendlichkeit durch die Form der Ordnungszeichen mitgegeben ist.

Die Inhaltsqualitäten, die von jeher von der überwiegenden Zahl von Biologen als subjektiv angesehen werden, sind die letzten biologischen Elemente, welche gemeinsam mit den Ordnungsqualitäten das reale Gerüst der Welt bilden. Uex-

*küll* erweitert die Lehre *Kants* dadurch, daß er auch Formen für alle Arten von Qualitäten, die aller Erfahrung vorausgehen und die jeder Qualität, sobald sie auftritt, ihren festen Platz innerhalb eines Systems anweisen, statuiert. Am klarsten liegt dies bei den Tönen zutage, die sich in der „Tonskala“ ordnen; in Anlehnung hieran ist von einer „Farbenskala“, „Geruchskala“ usw. zu sprechen. Die Anordnung der Verwandtschaftsformen der Inhaltsqualitäten in eine räumliche Gestalt ist ein Zurückgreifen auf den Prozeß unserer Aufmerksamkeit, der in Schwellen fortschreitet. Die eben merklichen Inhaltsänderungen der Aufmerksamkeit sind die Merkzeichen. Reichtum und Armut einer Erscheinungswelt wird durch die Zahl der Merkzeichen bestimmt. Die Merkzeichen unserer Aufmerksamkeit werden zu Merkmalen der Welt; auf diese Weise bauen wir aus subjektiven Qualitäten die objektive Welt der Dinge, Objekte und Gegenstände auf. Da der Beobachter eines Tieres die subjektiven Qualitäten desselben nicht kennen kann, darf er nur von der Umwelt, nicht der Erscheinungswelt eines Tieres reden. Er hat festzustellen, welche Eigenschaften unserer Erscheinungswelt in der Umwelt eines Tieres als „Merkmale“ Geltung haben. Nun zeigt sich, daß für die anatomische Gliederung der Rezeptionsorgane in wohlunterschiedene Einheiten nicht chemische oder physikalische Zusammenhänge der Umwelt, sondern die Aufmerksamkeitsformen der Merkzeichen, deren räumliches Abbild sie sind, verantwortlich sind. Hierdurch wird uns bei niederen Tieren die Gruppierung der Merkmale ermöglicht. Da nun sowohl in unserer wie der Tiere Körpergestaltung die Gesetzmäßigkeit der Formen unserer Aufmerksamkeit identisch wiedererkennbar ist, tut sich die Formgebung der Merkzeichen als eine übersubjektive kund und damit das Walten eines Naturfaktors. Hierin liegt auch ein Hinweis, daß für die Bewußtseins- wie die körperliche Tätigkeit der gleiche Faktor ausschlaggebend ist, charakterisiert durch identische Gesetzmäßigkeit.

Auf Grund der durch biologische Analyse gewonnenen Elemente schreitet *Uexküll* zur Synthese. Ein von uns selbst geformter geistiger Prozeß, der uns vollkommen unbekannt bleibt, formt durch Benutzung der Lokal-, Zeit- wie Inhaltszeichen, hauptsächlich aber durch Aufreihung von Richtungszeichen, die räumlichen Dinge körperhaft. Dieser Prozeß, mit *Kant* als Schema bezeichnet, läßt sich mit der aus der Malerei bekannten Linienführung einigermaßen versinnbilden. Das durch eine Gesamtheit von Eigenschaften und Fähigkeiten ausgezeichnete Ding bezeichnen wir als Objekt. Objekt, als solches nicht sichtbar, ist das durch Momentzeichen erweiterte Ding, wobei seine Fähigkeiten als neue oder veränderte Eigenschaften zum Vorschein kommen. Die festen Beziehungen der veränderten Eigenschaften zu der gleichen Einheit werden durch die unserem Apperzeptionsprozeß innewoh-

nende Kausalitätsregel geschaffen. Die Biologie behauptet im Gegensatz zur Physik, daß es außer der Kausalität noch eine zweite subjektive Regel gibt, die zur Vervollständigung des Weltbildes hinzugehört, die Planmäßigkeit. Dies sei durch ein *Uexküllsches* Beispiel veranschaulicht: „Wenn das Hämmerchen eine Klaviersaite trifft und ein Ton erklingt, so ist das eine reine Kausalreihe. Wenn dieser Ton aber einer Melodie angehört, so ist er in eine Tonreihe hineingestellt, die gleichfalls eine Ordnung darstellt, die aber nicht kausaler Natur ist.“ Es ist die Planmäßigkeit, welche die Gegenstände entstehen läßt, die wie die Dinge zwar aus Stoff bestehen, von denselben aber durch den Besitz eines „Gefüges“ im Gegensatz zur bloßen Struktur des Stoffes sich unterscheiden. Der Planmäßigkeit liegt immer eine Funktion zugrunde, welche auf eine Impulsfolge sich zurückführen läßt. Das Gefüge der Lebewesen ist nach morphologischen und funktionellen Gesichtspunkten zu beurteilen. Die Zellen, aus denen die Lebewesen aufgebaut sind, bestehen aus einem gefügten Teil, der die Funktion derselben übernimmt und zwangsläufig arbeitet, und dem Protoplasma, dessen Tätigkeit durch eine planmäßige Impulsfolge geregelt wird. Es gibt besondere Fälle, in denen die Impulsfolge des Protoplasmas aus ihm wohldifferenzierte Organe hervorgehen und wieder verschwinden läßt. Hier ist es, wo das Walten des selbständigen Naturfaktors besonders offenkundig wird. Die Impulsfolge ist ein außerhalb des anatomischen Gefüges liegender Naturfaktor und die übermaschinellen Fähigkeiten der Lebewesen, nämlich Erbauung, Betriebsleitung und Wiederherstellung sind an die Existenz des Protoplasmas gebunden. Da die Organe der Tiere der vollkommene Ausdruck ihrer Funktionen sind, Änderung der Organe immer Änderung der Funktion bedeutet, die Funktionen selbst aber invariable Einheiten sind, ist sowohl die von Morphologen vertretene Auffassung der allmählichen Vervollkommenung der Lebewesen wie der sogenannten minderwertigen Organe irrig.

Alles Voraufgehende ist notwendige Grundlage für *Uexkülls* ganz neuartige und fruchtbare Betrachtungsweise der Welt der Lebewesen. Ein jedes Tier bildet den Mittelpunkt seiner Umwelt, welche in eine Merkwelt und eine Wirkungswelt zerlegt werden kann, die durch die Innenwelt des Körpers zu einem Ganzen vereinigt werden. Was dem menschlichen Beobachter als einheitliche Objekte erscheinen, sind einerseits in die Merkwelt, andererseits in die Wirkungswelt des Tieres eintretende, unzusammenhängende Eigenschaften der Dinge. Umwelt und Innenwelt der Tiere bilden in sich abgeschlossene Funktionskreise, die mit den Merkmaleigenschaften der Objekte beginnen, sich durch die Innenwelt des Körpers erstrecken und mit den Effektoren wieder an das Objekt herantreten. Die Tiere sind nun derart in die Natur hineinge-



baut, daß auch die Umwelt wie ein planmäßiger Teil des Ganzen arbeitet. Daher kommt es, daß als ein Ausdruck der beherrschenden Funktionsregel dem Gefüge des Tieres ein Gegengefüge des Merkmalsträgers entspricht. Das Gegengefüge des Objektes ist im Bauplan des Subjektes mit enthalten, obgleich es niemals in direkte Beziehung zu dem Körper des Subjektes tritt. Als ein Beispiel des Zusammenhanges von Gefüge und Gegengefüge sei der Kampf zwischen Dolchwespe und Goldkäferlarve genannt, welcher damit endet, daß die Dolchwespe mit ihrem Stachel den Ganglienknoten auf der Bauchseite des Käfers trifft und ihn vergiftet. Die Verlegung der hier waltenden Planmäßigkeit in eine irgendwie geartete Psychologie des Tieres wird von *Uexküll* vollständig abgelehnt. Diese Ablehnung ist für das Verständnis der *Uexkülls*chen biologischen Weltauffassung bedeutsam, die nicht allein von der materialistischen, sondern auch von der psychologisierenden wesensverschieden ist. Wie wenig das Hineinverlegen psychischer Vorgänge in das Tier uns, was man das „Wissen“ oder die „Weisheit“ der Organismen nennen kann, zu erklären vermag, ist ersichtlich, wenn man erwägt, daß sich in den Handlungen der niedersten Tiere genau die gleiche weise Voraussicht, die sich in der Fügung ausspricht, offenbart wie beim höchsten Lebewesen und, daß selbst der Mensch sehr hilflos wäre, wenn er bloß auf das eigene Wissen seiner Psyche angewiesen wäre. Das Walten einer Naturkraft, die nach Regeln bindet und die man Planmäßigkeit oder Funktionsmäßigkeit nennen kann, offenbart sich bei der Betrachtung des Gefüges der Lebewesen und ihrer mannigfaltigen Fügungen in das Gefüge anderer Lebewesen.

Eine spezielle Nutzenwendung finden die besprochenen Lehren bei der Erforschung des Zentralnervensystems. Der Physiolog trennt in sensorische und motorische Apparate, der Biolog in Merkorgane und Handlungsorgane. Das Merkorgan umfaßt Gefüge + Protoplasma, soweit es zur Erzeugung von Merkmalen, das Handlungsorgan umfaßt Gefüge + Protoplasma, soweit es zur Erzeugung von Handlungen dient. Merken und Handeln werden durch eine vermittelt der biologischen Analyse klarzulegende Funktionsregel geleitet, während die physiologische Analyse das Gefüge der Merk- und Handlungsorgane im Zentralnervensystem zum Gegenstand hat. Die Leistungen des Gefüges sind mit den Hilfsmitteln der Physik und Chemie zu bewältigen.

Wegleitend für das Verständnis der Entstehung der Lebewesen ist der Erfolg des bekannten Drieschschen Versuches an halbierten Keimen. Im Keim ist eine unteilbare *Regel* von Anfang an enthalten, keinerlei Gefüge. Die Regel wirkt auf das Protoplasma durch Ordnung der Impulsfolgen. Schon *Karl Ernst von Baer* erkannte, daß die Gesetzmäßigkeit der Formbildung mit der Gesetzmäßigkeit der Melodie verglichen

werden müsse, die, ohne die Gesetzmäßigkeit der Kausalreihe zu durchbrechen, der Herrschaft einer planmäßigen Regel unterstellt ist. *Mendels* bahnbrechenden Entdeckungen der Vererbungen der Charaktere als unveränderliche Größen mit den Verdrängungs- und Vertauschungsregeln im Keim sind nach *Uexküll* die Aufdeckung des Naturfaktors der Impulse. *Johannsen* schuf für den von *Mendel* entdeckten Naturfaktor den Namen Gen. Die materielle Basis der Gene sind wohl die Chromosomen, aber die Gene bestehen außerdem aus dem immateriellen Impuls. Letztere sind nicht, wie die ersteren, an einen bestimmten Ort im Raum gebunden, greifen aber räumlich wie zeitlich ordnend auf diejenigen Stoffe ein, die allein befähigt sind, auf Impulse zu reagieren.

Sobald das Gefüge fertiggestellt ist und die Funktion als rein materieller Prozeß einsetzt, geht die Herrschaft über die Impulse von der Entstehungsregel auf die Funktionsregel über, die im Gegensatz zur Funktionsregel einer Maschine mit Hilfe der Gene außer dem Getriebe noch Wiederherstellen und Wachstum regelt. Den Moment, wo nach Beendigung des Gestaltungsprozesses das fertig ausgebildete und funktionsfähige Gebilde vorhanden ist, bezeichnet *Uexküll* als den kritischen Punkt. Die Experimentaltatsachen lehren, daß, solange die Funktion sich noch nicht eingestellt hat, die nächste Umgebung sich gar nicht um die Größe eines neu entstehenden Körperteils kümmert, sobald aber das Gefüge bereits unter der Herrschaft der Funktionsregel steht, sich die ganze Nachbarschaft in ihrem Wachstum an das Wachstum des Regenerats anschließen muß. Je mehr sich das Gefüge ausbildet, um so mehr verliert es an übermaschinellen Fähigkeiten, so daß man zu dem Satz gelangt, daß das Gefüge die Gefügebildung hemmt. Regeln finden wir auch bei Maschinen, die nur aus Gefüge bestehen. Lebewesen aber oder, was nach *Uexküll* das gleiche ist, Subjekt sein, bedeutet die dauernde Beherrschung eines Gefüges durch eine autonome Regel, im Gegensatz zur heteronomen Regel, die bei jeder Störung des Gefüges ihre Wirksamkeit einbüßt. Die Subjekte sind zudem vollkommen, weil sie sämtliche Eigenschaften ihres stofflichen Materiales heranziehen, während den Gegenständen außer den leitenden noch begleitende Eigenschaften anhaften, welche ihrem toten Material anhaften. Der Wert der exakten Erforschung des Stofflichen an Lebewesen beruht nicht zum mindesten auf dem Fehlen des Unterschiedes zwischen leitenden und begleitenden Eigenschaften.

Ganz neue Wege, durchaus abweichend von der herkömmlichen Betrachtungsweise der verschiedenen sogenannten Entwicklungsforscher, wandelt *Uexküll* in seiner Darlegung von der Art der Tiere. Mehr als bloß nominalistische Bedeutung hat die Erkenntnis, daß es keine „Entwicklung bei der Ontogenese gibt, sondern eine „Verwicklung“. Der Keim und der Embryo ist

ein unfertiges Gebilde, das erst durch das planmäßige Eingreifen immer neuer Impulse zum fertigen Gebilde wird, das Einfältige wird durch neue Faltenbildung zum Mannigfaltigen, also Steigerung der Mannigfaltigkeit. Ganz anders liegen die Dinge bei den Arten, planmäßigen Verbänden verschiedener Individuen. Unfertige Arten gibt es nicht und hat es nicht gegeben. Je zahlreicher die verschiedenen Genotypen innerhalb einer Art sind, um so leichter scheinen sie sich in verschiedene Rassen abzuspalten, die dann neue Arten bilden können. In diesem Sinne kann man von der Entwicklung einer Art aus der anderen sprechen. Stellt man sich die Frage, ob man die Fische als Ahnen der Säugetiere ansprechen soll oder nicht, so wird man sich darüber klar sein müssen, ob man mit dem Wort Ahne nur die materielle Basis meint, aus der die neue Gestaltungsmelodie ihr Baumateriel entnommen hat oder ob man die Melodie selbst meint. Im ersteren Fall sind die Fische Ahnen, im letzteren nur auf Grund einer übereinstimmenden Entstehungsmelodie Verwandte. Im Gegensatz zu *Haeckels* biogenetischem Grundgesetz formuliert *Uexküll*, um die Steigerung der Mannigfaltigkeit der Lebewesen verständlich zu machen, die Vorstellung, daß die Entstehungsmelodie, die z. B. die Fische formt, zu einer bestimmten Zeit in bestimmten Keimen einen anderen Abschluß gewonnen hat, und daß mit dem Einsetzen dieser neuen Melodie oder Gestaltungsregel die neuen Formen entstanden sind.

Das letzte Kapitel des Werkes ist einer abschließenden und sehr umfassenden Erörterung der Planmäßigkeit gewidmet. In sehr bestimmter Weise betont *Uexküll*, daß die sich über Raum und Zeit erstreckende Regelmäßigkeit kein Zweck oder Zweckmäßigkeit ist und nicht mit Vorstellungen von einem menschenähnlichen Wesen vermenget werden darf. Der übermechanische Faktor betätigt sich nicht bloß in der Entstehung der Lebewesen, sondern auch unter Mitwirkung der Impulse in den Handlungen der ausgebildeten Tiere. Es werden fünf Arten von Handlungen unterschieden, die Reflexhandlung, die Formhandlung, die Instinkthandlung, die plastische Handlung und die Erfahrungshandlung. Die Betriebsregel des fertigen Gefüges läßt sich in der Formel Receptor—Merkorgan—Handlungsorgan—Effektor wiedergeben, aber erst bei passender Hinzufügung der Betriebsleitungsregel durch die Impulse entsteht die Funktionsregel der Handlungen. Nur bei den Reflexhandlungen sind von Anfang an die Gefügeteile fertig, während bei allen anderen Arten der Handlung an einer bestimmten Stelle der übermechanische Faktor der Betriebsleitung, der Impuls, gefügebildend eintritt. Wie der Vorgang der Baufolge im Keim durch kein Gefüge irgendwelcher Art festgelegt ist, so gilt auch für die Handlungen der fertigen Tiere der Satz, daß der Rhythmus der gleichen Handlung, der bei dem einen Tier durch das Ge-

füge festgelegt ist, bei einem anderen Tiere dieser Festlegung entbehren kann. In sehr anschaulicher Weise werden im Lichte dieses Satzes die Bewegungsvorgänge bei der Verdauungsfunktion und der Fortbewegung analysiert.

Mit der Anerkennung der Planmäßigkeit erkennt man, daß ein Lebewesen, solange es seine sämtlichen mechanischen und chemischen Eigenschaften besitzt, in seine Umwelt vollkommen eingepaßt ist. Durch die *Einpassung* ist dann jedes Lebewesen nicht mehr ein Abklatsch des Universums, sondern ist, wie jede Maschine, in einen ganz bestimmten Wirkungskreis hineingestellt und in die Objekte, Gegenstände und Lebewesen genau eingepaßt. Nicht die umgebende Welt hat durch äußere Einwirkung die Gestalt des Lebewesens geformt, sondern ein innerer Plan läßt aus dem Keimplasma immer von neuem die in ihre Umwelt eingepaßten Lebewesen entstehen. Die *Uexküllsche* Einpassungslehre weist die Darwinsche Anpassungslehre mit allen ihren Konsequenzen in das Reich der Scheinprobleme. Mit der Lehre von der Planmäßigkeit fällt zugleich auch die Lehre von der Zweckmäßigkeit in der Natur. Ein Zweck, d. h. eine in die Zukunft verlegte Vorstellung trägt keineswegs die Gewähr für die vollkommene Ausnützung aller vorhandenen Mittel in sich, sondern diese wird stets mehr oder weniger vollkommen erreicht werden.

Das gesamte Impulssystem, das zugleich Erbauer und Betriebsleiter unseres Körpers ist, ist für immer unserer Anschauung entzogen. Da es unser transzendentes Subjekt, viel umfassender als das nur unser Ichleben umfassende Gemüt, ist, muß man den Versuch, durch unsere psychischen Erfahrungen das Leben der übrigen Lebewesen zu erklären, als aussichtslos bezeichnen. Die Biologie befindet sich in der gleichen Lage wie die Physik, welche, mehr denn je auf die Anschauung verzichtend, aus ihren Wirkungen die ungeordneten Naturkräfte beurteilt, nur ist die Biologie viel sicherer begründet, weil sie von der einzig feststehenden Grundlage ausgeht, den Sinnesqualitäten.

Im innigen Zusammenhang mit dem Lehrgebäude der „Theoretischen Biologie“ steht die „Umwelt und Innenwelt der Tiere“, von welchem die zweite vermehrte und verbesserte Auflage vorliegt. Als die erste Auflage vorlag, war dieses Werk eine willkommene Zusammenfassung des reichen Tatsachenmaterials, welches der Experimentalforscher *Uexküll* gesammelt hatte, eine Fundgrube feinsinniger biologischer Betrachtungsweisen. Kundige ersahen, wie befruchtend *Uexkülls* Forschertätigkeit auf die Problemstellung der Physiologie gewirkt hatte, aber die dort schon zutage tretende neuartige Ideenwelt stand etwas isoliert, ohne Resonanzboden einer schulmäßig durchgearbeiteten Theorie. Jetzt bilden beide Werke eine Einheit. *Uexkülls* theoretische Biologie hat ihre praktischen Erfolge durch die Eigenarbeit ihres Autors in dem Werke „Um-



welt und Innenwelt der Tiere“ schon vorher gezeitigt. Für denjenigen, der sich überwiegend an die Erfahrungsseite der Biologie halten will, ist dieses Werk in seiner neuen Auflage der beste und klarste Führer zu der neuen biologischen Weltauffassung. Denn sie leuchtet überall durch die geschickte, ebenso viel sinnige wie anschauliche Darstellungskunst des Autors noch eindringlicher aus dieser neuen Auflage des Buches hervor, als es in der früheren der Fall sein konnte, wo das theoretische Lehrgebäude noch der letzten Vollendung harrete.

Neu ist die Uexküllsche Weltauffassung, weil sie zum erstenmal eine rein biologische ist, ihre Grundbegriffe der Biologie als einer selbständigen Wissenschaft entnommen sind und sie gleich weit von materialistischer wie anthropozentrisch-spiritualistischer Auffassung absteht. Sie verlangt genau so eine neue Einstellung wie die Vorstellungen von *Einstein*. *Uexkülls* Biologie eröffnet Welten, wo es bisher nur eine gab, Welten, an deren Aufklärung die Experimentalforschung Gebiete größter Dankbarkeit finden wird.

## Neuere Ergebnisse der Gliedmaßenpfpropfungen: Umwandlung eines rechten Beines in ein linkes.

Von Hermann Braus, Würzburg.

(Schluß.)

### *Die Gliedmaße ein harmonisch äquipotentielles System.*

Wenn in einer Gliedmaßenanlage gemäß unseren Schemata Fig. 3, 9 oder 12a solche Zellen, die dorsal liegen, tatsächlich die ventrale Hälfte einer Extremität, oder solche, welche ventral liegen, tatsächlich die dorsale Hälfte einer Extremität bilden, so kann eine derartige Fähigkeit nur dadurch zustande kommen, daß der gewöhnliche Gang der Entwicklung vollständig gestört wird. Es ist infolgedessen ausgeschlossen, daß in der Gliedmaßenscheibe jede Zelle ihren bestimmten Auftrag hat, wie in einem Mosaik, in welchem jedes Steinchen an seinem Platz notwendig ist, um das Ganze harmonisch zu bilden. Vielmehr müssen die Zellen die Fähigkeit haben, jede beliebige Aufgabe zu lösen, welche den Extremitätenzellen überhaupt zufallen kann, d. h. jede Zelle ist *totipotent*. Ein System, in welchem jede Zelle alles kann, welches man also beliebig herumrühren kann, ohne daß dadurch die Fähigkeit des Ganzen geändert wird, auch wieder ein Ganzes in der normalen Form und Lage zu bilden, hat *Driesch* ein *harmonisch-äquipotentielles System* genannt, d. h. ein System, welches in jedem Teil gleich fähig ist, das Ganze harmonisch zu bilden. Daß die Gliedmaßenanlage tatsächlich ein solches ist, wurde von *Harrison* auch noch durch andere Versuche bewiesen. Er hat die Experimente nachgeahmt, welche bereits früher für Eier von wirbellosen Tieren und

Wirbeltieren ausgeführt wurden, um diese Fähigkeit zu beweisen. Erstens hat er die Hälfte einer Extremität sich entwickeln lassen und hat, trotzdem das Material auf die Hälfte verkleinert war, eine ganze Extremität erzielen können. Zweitens hat er zwei ganze Extremitätenanlagen miteinander zur Verschmelzung gebracht und gesehen, daß aus dieser künstlichen Riesenanlage nur eine Extremität hervorwuchs. Ganz das gleiche ist bekanntlich durch die Teilung von sich furchenden Seeigeleiern in zwei Halbeier erzielt worden. Aus jedem Halbei entwickelt sich ein ganzes Individuum, allerdings von geringerer Größe. Umgekehrt kann durch die Verschmelzung von zwei Ganzeiern ein Riesenei und weiter ein Riesenembryo entstehen, der, abgesehen von den absoluten Maßen, ganz so geformt ist, wie ein normaler Embryo. Auch bei den Gliedmaßen der Urodelen entstehen aus Halbanlagen anfänglich kleinere, und aus Doppelanlagen anfänglich größere Gliedmaßen als gewöhnlich. Aber diese Unterschiede gleichen sich sehr bald aus; das schließliche Resultat ist so, wie wenn überhaupt keine Operation vorgenommen worden wäre. Es ist aber klar, daß bei der Entwicklung einer Vollgliedmaße aus der Hälfte einer Gliedmaßenanlage oder aus zwei verschmolzenen Ganzanlagen sämtliche Zellen eine ganz andere Aufgabe zugeteilt erhalten, als sie im gewöhnlichen Gang der Dinge zu vollziehen hätten. *Driesch* hat dies an dem Beispiel der Eier aufs klarste nachgewiesen.

Schließlich hat *Harrison* noch einen dritten überzeugenden Versuch gemacht, um dieses Resultat zu stützen. Er hat nämlich die Mesodermzellen nach Wegklappen des Ektoderms einer Gliedmaßenanlage für sich verpflanzt. Dabei können aus technischen Gründen immer nur Stücke des Mesoderms, nie das Ganze verpflanzt werden; es ist dabei ganz unvermeidlich, daß die verpflanzten Zellen gänzlich durcheinander geraten. Er erzielte trotzdem Extremitäten, die normalen Extremitäten sehr ähnlich waren. Sie besaßen wohl Defekte, aber diese Defekte waren nicht irgendwie regelmäßig, sondern sie entstanden bald hier und bald dort, während man bei einem Mosaik, das von vornherein festgelegt ist, erwarten sollte, daß eine der Schädigung genau entsprechende Defektbildung resultieren würde.

Ich habe früher bei der Unke für den Schultergürtel nachgewiesen, daß derselbe seiner Anlage nach ein harmonisch-äquipotentielles System im Sinne von *Driesch* ist. Denn es gelang mir, aus einem Material, bei welchem die Anlage für den Schultergürtel durch die Art der Operation kleiner war als gewöhnlich, Gliedmaßen zu züchten, bei denen der Schultergürtel vollständig, aber zwerghaft ausgebildet war; die Pfanne für das Schultergelenk ist in solchen Fällen entsprechend der Verkleinerung des Gliedmaßengürtels ebenfalls verkleinert. Für diese kleine Pfanne paßt dann der Kopf des

Humerus nicht, weil dieser sich in gewöhnlicher Größe hat entwickeln können. Denn es war das Material für die freie Gliedmaße infolge der Operation nicht verändert worden. Ich habe solche Diskrepanzen zwischen Pfanne und Kopf eines Gelenkes, welche auf diesem Wege künstlich erzeugt werden können, zu den angeborenen Anomalien in Beziehung gebracht, welche sich bei dem Hüftgelenk des Menschen finden. Dort ist bekanntlich eine angeborene Hüftgelenksverrenkung nicht selten, bei welcher die Pfanne ebenfalls für den Kopf zu klein ist und deshalb mit Notwendigkeit eine Ausrenkung des Kopfes zuwege bringt (in manchen Ländern ist sie in hohem Maße erblich, z. B. in Holland). *Fick* hat neuerdings diese Resultate beanstandet, und zwar unter anderem deshalb, weil er bestreitet, daß eine derartige Potenz, sich harmonisch-äquipotentiell auszubilden, der Schultergürtelanlage zukomme, er glaubt vielmehr, daß das Kleinerbleiben der Pfanne durch eine direkte Schädigung der Pfannenanlage bei der Operation zu erklären sei (Abhdl. preuß. Ak. d. Wiss. 1921, Nr. 2, Einzelausgabe S. 9). Es ist für diese Betrachtungen nicht unwichtig, zu sehen, daß sämtliche Gliedmaßenzellen, wie es von vornherein wahrscheinlich war, ein harmonisch-äquipotentielles System darstellen, wie *Harrison* unzweideutig für *Amblystoma* bewiesen hat. Allerdings hat sich eine sehr merkwürdige Verschiedenheit ergeben, welche namentlich von *Detwiler* hervorgehoben worden ist. Bei den von mir benutzten anuren Amphibien ist es außerordentlich leicht, die einzelnen Teile des Schultergürtels voneinander zu unterscheiden, weil jedes Stück für sich seine eigenen Knochen hat, sei es Knochen, welche an die Stelle des Knorpels treten (Ersatzknochen) oder solche, welche sich auf den Knorpel auflegen (Deck- oder Mantelknochen); jeder von ihnen ist für die betreffende Partie des Schultergürtels spezifisch. Das ist bei dem Schultergürtel der Urodelen nicht so; bei ihnen tritt nur eine sehr spärliche Verknöcherung in der Umgebung des Gelenkes ein, alle übrigen Teile bleiben knorpelig und sind deshalb nur ihrer Form nach, nicht ihrem Material nach voneinander zu unterscheiden. Ich vermute, es wird zum Teil diesem Umstand zuzuschreiben sein, daß die Befunde vorläufig noch sehr voneinander abweichen. *Detwiler* ist der Meinung, daß gerade bei seinem Objekt (*Amblystoma*) der Schultergürtel eine Ausnahme mache und sich tatsächlich wie ein Mosaik entwickle. Er hat aus seinen Neurulae mit verpflanzten Gliedmaßenanlagen Tiere aufgezogen, bei welchen sowohl am Entnahmeort Stücke vom Schultergürtel sich entwickelten, was dem entspricht, was auch ich erzielt hatte; außerdem erzielte er an der Einpflanzungsstelle auch nur Stücke eines Gliedmaßengürtels, die sich nachträglich untereinander zu einem Ganzen verbinden konnten. Dieses Ganze war aber nach

ihm nie ein harmonisches Ganze, sondern eben ein aus Stücken zusammengefügtes sekundäres Produkt. Es ist nun äußerst sonderbar, daß bei erwachsenen Urodelen (bei Tritonen nach *Tornier*, *Fritsch* und *Kurz*), wie *Harrison* selbst hervorhebt, eine Regeneration eines amputierten Gliedes zu einem Ganzgliede beobachtet worden ist, während das entsprechende bei Larven nach *Detwiler* nicht vorkommen soll. Gerade also die höhere Potenz wäre, wenn *Amblystoma* sich gerade so verhält wie Triton, bei den erwachsenen Tieren, und die geringere Potenz bei den jungen Tieren vorhanden, was unseren sonstigen Erfahrungen zuwider läuft. Über die Beziehungen des Humeruskopfes zu der Pfanne gibt *Detwiler* keine genaue Auskunft. Es ist das wahrscheinlich bei seinem Objekt auch deshalb nicht so leicht möglich, weil infolge des knorpeligen Materials die Formen nicht so festgelegt sind, wie das bei den mit zahlreicheren Knochen versehenen und festeren Skeletteilen der anuren Amphibien der Fall ist. Ich glaube deshalb, daß wir weitere Befunde bei den Urodelen abwarten müssen. Ich habe meinen früheren Befunden bei der Unke nichts hinzuzufügen<sup>1</sup>).

#### Gliedmaßenverdoppelungen.

Eine normale rechte Gliedmaße eines Tieres verhält sich zu der normalen linken Gliedmaße wie ihr Spiegelbild. Spiegelbildliche Extremitäten können aber bei Amphibien auch aus einer Anlage erzielt werden (superregenerative Mißbildung nach *Tornier*, *Braus* u. a.). Derartige Verdoppelungen hat bei fertigen Tieren besonders *Bateson* an den verschiedensten Organen in einer großen Fülle, auch an den Extremitäten, einschließlich derer der Amphibien, auf Grund früherer und eigener Befunde nachgewiesen. *Harrison* hat gezeigt, daß die bei den Amphibien vorkommenden Verdoppelungen den Regeln von *Bateson* durchaus entsprechen. Doch kann ich auf diese Dinge hier nicht im einzelnen eingehen. Dagegen liegt es auf der Hand, daß, wenn wir aus einer Extremität eine spiegelbildliche Verdoppelung durch das Experiment erzielen können, und wenn es gelingt, über das Zustandekommen einer solchen Verdoppelung eine zutreffende Vorstellung zu erzielen, daß dann auch eine gewisse Möglichkeit besteht, das Zustandekommen von rechts und links bei den normalen Gliedmaßen verstehen zu lernen. Wir sind nun allerdings noch nicht so weit, spiegelbildliche Verdoppelungen in ihrem ersten Entstehen zu begreifen. Aber

<sup>1</sup> *Fick* sucht durch eine Aufzählung meiner Angaben über die Resultate der Verpflanzungen nachzuweisen (l. c. S. 17), daß ich zwar die einzelnen Befunde nachträglich aufgegeben, aber trotzdem an den darauf begründeten Schlüssen festgehalten hätte, ein Vorwurf, der meines Erachtens nicht erhoben werden durfte, wenn er sich nur auf kasuistische Deutungen und nicht auf eigene Beobachtungen stützt. Die Zitate *Ficks* erledigen sich von selbst, wenn man nicht vergißt, daß ich das Experiment in vielen Fällen und nicht nur in einem machte.



wir sehen doch einen gangbaren Weg, welcher für die zukünftige Forschung von großer Bedeutung sein dürfte. Jedenfalls sind die bisherigen Deutungen als nicht haltbar erwiesen. Auf diese will ich deshalb hier nicht eingehen.

Denken wir uns mit *Harrison* eine indifferente Körperform durch ein Tetraeder wiedergegeben, so können wir zunächst alle Ecken des Tetraeders als gleich geartet annehmen. In diesem Falle handelt es sich um ein System, das nach keiner Richtung hin irgendeinen Vorzug hat, also z. B. um eine Kugel, die nach jeder Richtung ihres Gefüges hin gleich gebaut ist. Wird eine Ecke des Tetraeders besonders ausgebildet, wie es in Fig. 15 durch den Buchstaben *K* ausgedrückt ist, so bekommt das System eine einseitige Orientierung; so würde beispielsweise ein Organismus gebaut



Fig. 15.

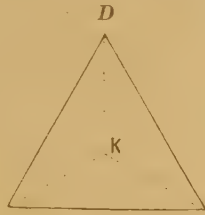


Fig. 16.

sein, der an einem Ende zu einem Kopf, am entgegengesetzten Ende zu einem Schwanz differenziert ist, und der im übrigen eine Walze darstellt, die radiär zu ihrer Längsachse überall gleich gebaut ist, so daß nur Kopf und Schwanz und nichts anderes festgelegt sind. Ganz anders, wenn die zweite Ecke des Tetraeders in besonderer Weise differenziert ist, wie es in Fig. 16 durch den Buchstaben *D* wiedergegeben ist. Wir nehmen an, es handele sich bei *D* um dorsal und bei der gegenüberliegenden Kante um ventral. In diesem Falle haben wir einen Organismus oder den Teil eines Organismus, der *bilateral-symmetrisch* gebaut ist; denn wir haben nicht nur ein Vorn und Hinten, sondern auch ein Dorsal und Ventral; da die beiden freien Ecken einander gleich sein sollen, so können wir das ganze System durch eine mediane Ebene (durch *D* und *K*) in zwei Hälften zerlegt denken, welche einander spiegelbildlich entsprechen. Denken wir uns nun zwei Tetraeder, bei welchen die beiden bis dahin freien Ecken so differenziert sind, daß in dem einen die basale rechte Ecke genau so gebaut ist, wie in dem anderen die basale linke Ecke und umgekehrt (Fig. 17), so haben wir zwei Systeme vor uns, die sich im ganzen zu einander spiegelbildlich verhalten, also z. B. zwei Menschen, von denen der eine den gewöhnlichen Situs seiner Eingeweide hat, der andere einen Situs inversus. Es gibt unter den eineiigen Zwillingen, wenn auch selten, solche Fälle, bei denen tatsächlich das eine Geschwister einen Situs normalis, das andere einen Situs inversus besitzt (in der Regel haben allerdings beide den gleichen normalen Situs).

Bei den normalen Extremitäten handelt es sich darum, daß durch das Anlagematerial innerhalb der Extremität Vorn und Hinten festgelegt sind, daß also *K* von vornherein bestimmt ist (Fig. 18). Ob *L* (lateral) irreversibel oder zur Zeit der Operation unverschieblich bestimmt ist, wissen wir noch nicht genau. Dagegen ist sicher, daß erst durch den Standort *D* und *V* (dorsal und ventral) festgelegt wird, nämlich dadurch, ob tatsächlich die eine Ecke, welche gewöhnlich dorsalwärts gelegen ist, auch an ihrem neuen Standort dorsalwärts im Empfänger zu liegen kommt. Tut sie das nicht, so wird sie so umgewandelt, bis sie schließlich denselben Charakter bekommt, wie wenn sie von vornherein dorsal gelegen gewesen wäre. Die Stellung von *D* und *V* in Fig. 18 ist also nicht durch das Anlagematerial in sich bestimmt (Selbstdifferenzierung), sondern sie ist



Fig. 17.

bestimmt durch die Umgebung (abhängige Differenzierung). Das war das Resultat, welches wir in dem ersten Abschnitt unserer Betrachtungen festgestellt hatten und welches wir an der Hand des Tetraeders uns hier noch einmal vergegenwärtigen wollen.

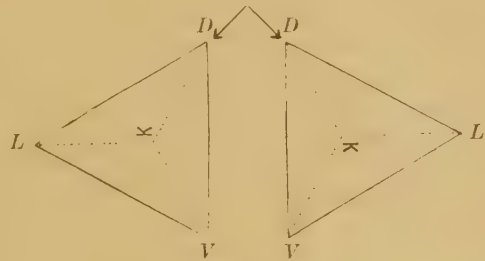


Fig. 18.

Wenn nun eine Extremität sich spiegelbildlich verdoppelt, so geschieht etwas sehr Ähnliches bei der überzähligen Extremität, welche als Spiegelbild zu der originalen Gliedmaßenanlage entsteht, wie bei der Umwandlung einer linken in eine rechte oder einer rechten in eine linke Extremität. Die originale Extremität entwickelt sich so, daß *X*<sub>1</sub> und *X*<sub>2</sub> an der betreffenden Ecke stehen bleiben, zu der sie gehören, die spiegelbildliche Extremität dagegen entwickelt sich so, daß *X*<sub>1</sub> und *X*<sub>2</sub> gerade an die andere Ecke zu stehen kommen, zu welcher sie bei der normalen Entwicklung nicht gehören würden. So entstehen zwei Gliedmaßen, welche sich spiegelbildlich zu einander verhalten (Schema Fig. 7). Zu diesem Resultat gibt es nun eine Analogie in Experi-

menten, welche *Spemann* und *Falkenberg* an Eiern von Amphibien erzielt haben (Arch. Entw. Mech. Bd. 45, 1919). Sie fanden, daß bei der Durchschnürung eines sich furchenden Eies die beiden Hälften, wenn man sie isoliert aufzieht, zwei Tiere ergeben (eineiige Zwillinge), von denen sich das eine als das Spiegelbild des anderen erweist; das eine Tier hat normalen Situs seiner Eingeweide, das andere hat Situs inversus. *Spemann* geht bei der Erklärung dieses überraschenden Befundes davon aus, daß jeder normale Amphibienembryo in sich eine Tendenz zur Asymmetrie besitzt. Diese Asymmetrie äußert sich in der späteren Entwicklung darin, daß z. B. die Leber mehr auf die rechte Körperseite, das Herz mehr auf die linke Körperseite zu liegen kommt usw. Wir deuten diese, ihrem Charakter nach uns noch wenig genau bekannte Tendenz in unserem Schema dadurch aus, daß die Buchstaben  $X_1$  und  $X_2$  an die basalen Ecken des Tetraeders zu stehen kommen (Fig. 19 a). Wird nun das Ei durchgeschnürt, so werden an den Stellen, an welchen die Durchschnürung eine Wunde setzt, Kräfte durch die Operation ausgelöst, die sich gerade spiegelbildlich zueinander verhalten. In dem linken Halbei werden die Kräfte gerade an derjenigen Seite angreifen, welche sich spiegelbildlich verhält zu der Seite, an welcher sie an dem rechten Halbei angreifen; denn die beiden Verletzungsflächen korrespondieren ja miteinander (beide Flächen gehören zu der Durchschnürungsebene). Stellen wir uns nun vor, daß durch die Operation an der Verletzungsfläche, etwa durch die Einkrümmung bei der Heilung, ein Druck oder ein Zug auf das Ei ausgeübt wird, der die Entwicklungsrichtung beeinflusst, so ergibt sich ohne weiteres, daß dieser neue Faktor bei dem einen Halbei sich spiegelbildlich zu dem des anderen Halbeis einstellen muß. Wir wollen in unserem Schema diesen Faktor durch den Buchstaben  $X_3$  wiedergeben. Es würde also in dem einen Fall  $X_3$  auf die rechte basale Ecke, in dem anderen Fall auf die linke basale Ecke zu schreiben sein, weil die beiden einander benachbarten Ecken im Objekt selbst der einen, das Ei zertrennenden Wundfläche entsprechen würden (die Trennungsfläche ist in Fig. 19 a durch  $D$  und  $K$  gelegt zu denken). Rechnet man die Kräfte zusammen, welche in den verschiedenen Ecken wirksam sind, so erhält man in Fig. 19 b auf der einen basalen Ecke  $X_1$ , auf der anderen  $X_5$ . In diesem Falle ist die Tendenz zur Asymmetrie harmonisch verstärkt worden; statt eines Gefälles von  $X_1$  zu  $X_2$  wie in der Norm (Fig. 19 a) haben wir jetzt ein viel größeres Gefälle, nämlich von  $X_1$  bis  $X_5$ . In diesem Falle wird durch die Operation die Tendenz zur normalen Asymmetrie verstärkt, aber sie bleibt ihrem Charakter nach unverändert. Es entsteht der gewöhnliche Situs, wie wir ihn auch ohne Operation zu erwarten hätten. Ganz anders ist

es aber in dem Tetraeder der Fig. 19 c. In diesem Falle ergibt der Faktor  $X_3$  mit  $X_1$  zusammen die Summe  $X_4$ , so daß die Richtung des Gefälles umgedreht wird. Sie geht nicht mehr von der linken basalen Ecke zu der rechten hin, sondern von der rechten zur linken, nämlich von  $X_2$  zu  $X_4$ . So kann also ein durch die Operation eingeführter Faktor in dem einen Fall die normale Asymmetrie verstärken, in dem anderen Fall sie aufheben oder sie in ihr Gegenteil verkehren und dadurch bei einem ganzen Tier einen Situs inversus hervorrufen. *Spemann* hält insbesondere für möglich, daß derartige, durch die Operation eingeführte Faktoren in der Weise wirksam seien, daß sie gleichsam den normalen Gang überholen. Sie greifen so früh in das Getriebe der Entwicklung ein, daß bereits Zellen in einer neuen Richtung umgestimmt sind, ehe die normalen Entwicklungsfaktoren sich an ihnen äußern können.

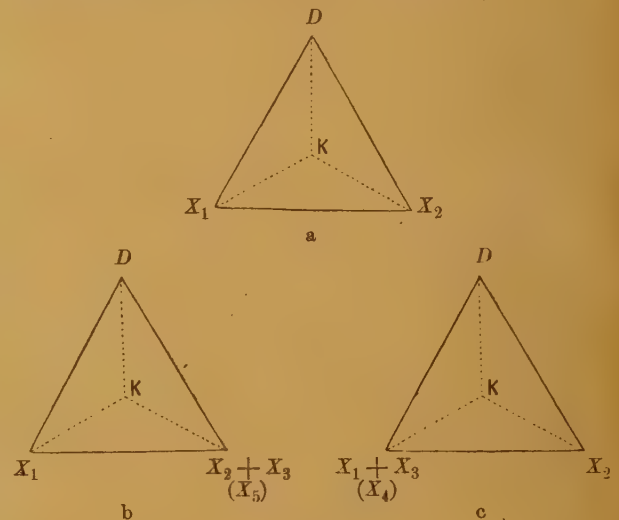


Fig. 19.

*Harrison* hat diesen Gedankengang auf die Gliedmaßen angewendet. Wir können uns etwa vorstellen, daß bei einer transplantierten Gliedmaße durch die Art, wie die Gefäße oder Nerven in das eingepfropfte neue Glied einwachsen, ein Operationsfaktor gesetzt wird, welcher die inneren Kräfte der Extremität im einen Falle verstärkt, im anderen Fall abschwächt oder aufhebt. Wir können zwar im Augenblick die Faktoren weder in dem einen noch in dem anderen Fall mit Sicherheit bestimmen, sondern wir können uns nur ganz im allgemeinen vorstellen, welcher Art dieselben etwa sein könnten. Ich kann mir denken, daß sich z. B. an der Stelle, an welcher der Faktor  $X_3$  eingefügt wird (Fig. 19 b, c) ein Gefäß befände, welches die Gliedmaßenanlage ganz besonders gut ernährt und welches diese Ecke gegenüber der gegenüberliegenden Ecke besonders bevorzugt. In diesem Falle würde in der Gliedmaße, welcher die Fig. 19 b entspricht, die Asymmetrie, welche ihr eingeboren ist, verstärkt werden, während in der Gliedmaße, welcher Fig. 19 c



entspricht, die ihr eingeborene Asymmetrie aufgehoben und in ihr Gegenteil verkehrt werden würde. Ganz ähnlich ließen sich Überlegungen anstellen über die Einwirkung von Nerven, die eine Stelle bevorzugen, und dann natürlich jeweils von der Stelle aus, an welcher sie einwachsen, nach beiden Seiten fortschreitend wirken, so daß spiegelbildlich zu der Anfangsstelle orientierte Differenzierungen herauskommen.

Wir können hier erst in den größten Umrissen sehen, welche Aufklärungen weitere Experimente über die Entstehung der Doppelmißbildungen und Verdoppelungen bringen werden. Aber es ist zweifellos, daß hier das Fundament gelegt ist, auf welchem weiter gebaut werden muß.

Ich möchte zum Schluß auf die normalen, nicht verdoppelten Gliedmaßen zurückkommen. Denken wir uns zwei Tetraeder in der Lage einer normalen rechten und linken Gliedmaße (Fig. 18), so ist hier eine Einwirkung seitens des Milieus in der Richtung der Pfeile sehr leicht möglich; man denke auch hier an das Einwachsen von Gefäßen oder Nerven, welche vom Rücken der Larve her aussprossen (axiale Organe als Ausgangspunkt), oder an die Rundung des Körpers, welche dorsal einen anderen Radius hat als ventral. Nur ein Faktor hat sicher keinen Einfluß, welcher auf den ersten Blick für wichtig gehalten werden könnte, nämlich die Schwerkraft. Die Embryonen liegen nämlich während der frühen Entwicklung meistens auf der Seite. Die Ausdrücke „dorsal“ und „ventral“ sind also als allgemeine Richtungsbezeichnungen im Sinne des üblichen Wirbeltierschemas, nicht als jeweilige Marken für die Orientierung im Raume zu verstehen.

Stimmen im allgemeinen die Probleme der Rechts- und Linksbestimmung bei normalen und superregenetischen Gliedmaßen für unsere Überlegungen überein, so ist doch auf einen Unterschied aufmerksam zu machen, der sich aus den bisherigen Ergebnissen der Experimente ergibt. Bei normalen Gliedmaßen, welche verpflanzt werden, hat sich die innere Polarität in kranio-kaudaler Richtung nicht aufheben lassen, d. h. der Buchstabe K im Schema der Fig. 18 bleibt an seinem Platz innerhalb der Anlage, auch wenn man sie beliebig dreht. Bei den Verdoppelungen jedoch vermag eine Gliedmaße auch in der Richtung der Pfeilspitze unserer Schemata (Fig. 7) auszuwachsen, also gerade entgegengesetzt zu der sonst fest vorgeschriebenen Richtung. Möglicherweise werden in diesen Fällen Fähigkeiten aktiv, welche auch die originale Gliedmaßenanlage hat, nur in früheren Stadien als denjenigen, in welchen der Experimentator bisher eingreifen konnte. Wäre es möglich, bei geeigneten Objekten die Gliedmaßenanlage in noch früheren Stadien als dem der Fig. 1a aufzufinden, so wäre auch in ihr vielleicht noch nicht unverschiebbar festgelegt, was Vorn und Hinten werden soll. In späteren Stadien könnten solche sonst latente Kräfte meiner Meinung nach bei der Superregeneration, bei der alles gleichsam ganz von vorn anfängt,

wieder frei werden. Aber Rätsel wie dieses gibt es noch genug bei tierischen Pfropfungen. Freuen wir uns, daß es so viele Mittel gibt, sie zu lösen.

### C. V. L. Charliers

## Untersuchungen über den Aufbau einer unendlichen Welt.

Von W. E. Bernheimer, Wien.

Die Fortschritte der Astrophysik in den letzten Jahrzehnten haben eine solche Fülle neuen Materials gebracht, daß der Versuch, an das uralte Problem der Schaffung eines Weltbildes heranzugehen, nunmehr gestützt auf reichere Erfahrungstatsachen und mit dem Rüstzeug der Mathematik versehen, immer größeren Reiz gewann. *Seeligers* berühmte Untersuchungen über die räumliche Verteilung der Sterne<sup>1)</sup> haben diese moderne Epoche der Stellarastronomie eingeleitet und seither sind zahlreiche Forscher mit Energie an dieses Problem herangegangen. Insbesondere *Shapleys* Überlegungen, die in dieser Zeitschrift *A. Köpff*<sup>2)</sup> in übersichtlicher Weise entwickelt hat, sind da von großer Bedeutung.

Eine wichtige Frage, die als eine primäre die Frage nach der Endlichkeit oder Unendlichkeit der Welt zurückstellte, ist die Frage nach der Stellung der Spiralnebel zu unserem Systeme der Milchstraße. Die Grenzen unseres Systems sind durch die Untersuchungen *Shapleys*, der die kugelförmigen Sternhaufen in Entfernungen bis zu 200 000 Lichtjahren mit einbezieht, in außerordentlicher Weise hinausgerückt worden. Die Spiralnebel würden als weitere Mitglieder des Systems die Dimensionen noch mehr vergrößern. Rechnen wir aber die Spiralnebel zu den selbständigen Systemen, dem unseren gleichgeordnet, dann wird mit einem Schlage unser Weltbild von Grund aus verändert, die Dimensionen ins Gigantische erweitert. Sei nun das System der Nebel wieder nur ein einzelnes Mitglied eines neuen übergeordneten Systems, so sind wir bereits am Wege der gedanklichen Einstellung auf das unendliche Weltbild mit Systemen von unbegrenzt wachsender Größenordnung, ein Gedankengang, der auf *Lambert* zurückzuführen ist.

Die Frage, ob die Spiralnebel selbständige Systeme sind, ist heute noch ungeklärt. Die Ansichten sind streng geschieden. Erfahrungstatsachen, wie die außerordentlich hohen Radialgeschwindigkeiten, die gefundenen Rotationsbewegungen einiger Spiralen erhalten verschiedene Deutungen, je nach den Anschauungen, die die Forscher vertreten.

C. V. L. Charlier hat sich dafür ausgesprochen, daß die Spiralen, wie es sich schon *Kant* gedacht hatte, ferne Milchstraßen seien, und schon vor Jahren in Weiterführung dieses Gedankens

<sup>1)</sup> Referat *Bottlinger*, N. W. Heft 41, 1919; Referat *Kienle*, N. W. Heft 50, 1921.

<sup>2)</sup> Naturwissenschaften Heft 39, 1921.

und in Verallgemeinerung der Idee *Lamberts* die Hypothesen, die zu einer Anschauung von einer unendlichen Welt führen, diskutiert. In einer vor kurzem erschienenen Arbeit<sup>3)</sup> hat nun *Charlier* neuerlich darauf zurückgegriffen und die seinerzeitigen Entwicklungen auf Grund der inzwischen so zahlreiche erfolgten neuen astrophysikalischen Beobachtungen weiter ausgestaltet. Es ist auch für die Physiker bedeutsam, zu erfahren, wie sich *Charlier* den Aufbau dieser nach seiner Anschauung unendlichen Welt denkt. Insbesondere verdient der erste Versuch, ein Bild von der Gestalt des Systems der Spiralnebel zu erhalten, jenes Systems, dem auch unsere Milchstraßenwelt als Mitglied zuzurechnen wäre, höchstes Interesse.

Der *Lambertsche* Gedanke war in Kürze: Das erste System ist der Planet mit seinem Satelliten, das zweite die Sonne als Zentrum mit ihren Planeten; mehrere Sonnen kreisen um einen dunklen Körper mit großer Masse, das ist das 3. System des Sternhaufens; viele Sternhaufen kreisen wieder um ein neues unsichtbares großes Massenzentrum, das ist die Milchstraße als 4. System, diese wieder um ein nächst höheres usw. Das Gravitationsgesetz hält alle Systeme zusammen. In moderner Abänderung hat *Charlier* statt der unzulänglichen und unbegründeten Anschauung von dem dunklen Zentralkörper mit seinen Planeten als Gruppeneinheit unser Milchstraßensystem gewählt, im übrigen den Gedanken *Lamberts* von den Systemen wachsender Ordnung beibehalten.

Wir beginnen mit unserem System. Es enthalte  $N_1$ -Sterne. Ihre Gesamtheit bilde das Milchstraßensystem  $G_1$ , dessen Halbmesser sei  $R_1$ . Unserem System gleichgeordnete Milchstraßensysteme (Spiralnebel)  $G_1$  gebe es in der Anzahl  $N_2$ . Die Gesamtheit aller dieser  $G_1$  bilde das System zweiter Ordnung  $G_2$  mit dem Halbmesser  $R_2 \cdot N_3$  solcher Milchstraßenwelten  $G_2$  bilden ein System dritter Ordnung  $G_3$  und so weiter.

Die Gestalt jedes Systems ist zwecks einfacher mathematischer Behandlung als sphärisch angenommen. (Die Form von Ellipsoiden würde ähnliche aber kompliziertere Entwicklungen geben.) Das Problem, das sich *Charlier* gestellt hat, besteht darin.

Die Abstände  $2 \varrho_i$  zweier benachbarter Mitglieder der Systeme  $G_i$  einerseits, wie die Halbmesser  $R_i$  der verschiedenen  $G_i$  andererseits, so zu wählen und mit der Anzahl der Mitglieder  $N_i$  von  $G_i$  derart in Verbindung zu bringen, daß die Widersprüche, die sich aus der Annahme einer unendlichen Welt ergeben würden, verschwinden.

*Charlier* zieht zwei Haupteinwendungen heran. *Seeliger* bemerkt: Das Newtonsche Gesetz, auf eine unendliche Welt angewendet, führt

zu unlöslichen Widersprüchen, wenn die im Raum verteilte Totalmasse als unendlich angesehen würde. *Olbers* bemerkt: Gibt es im ganzen unendlichen Raume leuchtende Sonnen, so ist ihre Masse, gleichgültig wie die Sonnen selbst auch verteilt wären, unendlich und der ganze Himmel muß so hell sein wie die Sonne. Die mathematische Behandlung zeigt, daß bei geeigneter Wahl der  $R_i$  die Widersprüche verschwinden und zeigt das bemerkenswerte Ergebnis, daß beide Bemerkungen zu derselben ausschlaggebenden Beziehung führen, nämlich zu der Ungleichung  $\frac{R_i}{R_{i-1}} > \sqrt{N_i}$ . Bei der Wahl einer

unendlichen Welt bleibt sowohl die Gesamtleuchtkraft der Welt, wie die Gesamtanziehungskraft endlich, wenn nur vorstehende Ungleichung erfüllt ist, d. h. der Halbmesser eines Systems größer ist, als die Quadratwurzel aus der Anzahl der Mitglieder dieses Systems, multipliziert mit dem Halbmesser des Systems der nächst niedrigeren Ordnung. Desgleichen gilt unter der Annahme der Gleichheit aller  $N_i$  die Beziehung:

$$\frac{\varrho_i}{\varrho_{i-1}} > \sqrt{N_i}$$

Die Diskussion der Bewegung eines Sterns innerhalb unseres galaktischen Systems führt auf eine periodische Bahn. Die Periode ist proportional der Quadratwurzel aus der galaktischen Dichte. Als besonders bemerkenswertes Resultat erhält *Charlier*, daß die Periode, nach der ein Stern wieder in seine ursprüngliche Stellung zurückkehrt, — unabhängig von der Gestalt der Bahn — für alle Sterne innerhalb des Systems die gleiche ist. Die Periode ist also auch die Periode des gesamten galaktischen Systems  $G_1$ . Nimmt man in diesem System erster Ordnung — freilich unter der Annahme gleicher Masse aller Gestirne — die Dichte zu  $10^9$  Sterne in einer Kugel von 1000 Siriometer<sup>4)</sup> Radius (unser  $R_1$ ), so gelangt man zu einer Periode von 1 000 000 000 Jahren. Dies wäre also die Zeit, nach der unsere Milchstraßenwelt wieder dieselbe Gestalt angenommen hätte.

Nun geht *Charlier* einen Schritt weiter vom System erster Ordnung der Fixsterne zum System zweiter Ordnung  $G_2$ , dem Systeme der Spiralnebel. Nach dem *Olbers-Seeliger-Kriterium* wird  $R_2 > \sqrt{N_2} \cdot R_1$  angesetzt. Nach Schätzungen von *Curtis* und *Perrines* ist die Zahl der Spiralnebel

<sup>4)</sup> 1000 Siriometer = 15 825 Lichtjahre. In der Astronomie bestehen leider gegenwärtig verschiedene Entfernungseinheiten nebeneinander. In letzter Zeit gewinnt der Parsec, vielfach auch Sternweite genannt, immer größere Verbreitung. Dies entspricht einer Parallaxe von 1". In älteren Arbeiten findet sich auch die der Parallaxe 0".1 entsprechende Distanz von 10 Parsec. 1 Parsec = 3,26 Lichtjahre. *Charliers* Siriometer, die in der oben zu besprechenden Arbeit verwendete Einheit, ist einer Parallaxe von 0".206 entsprechend und = 4,8543 Parsec, oder gleich 15,825 Lichtjahre. Nicht zu verwechseln mit der von *Seeliger* eingeführten Siriusweite, die einer Parallaxe von 0".2 entspricht. Eine Siriusweite = 5 Parsec, oder gleich 16,30 Lichtjahre.

<sup>3)</sup> C. V. L. *Charlier*, How an infinite world may be built up. Stockholm 1922. Arkiv för Mat., Astr. och Fys., utgivet av K. Svenska Vetenskapsakademien Band 16, Nr. 22; Meddelande från Lunds Astronomiska Observatorium Nr. 98.



ca. 1 Million, also  $N_2 = 10^6$ . Demnach  $R_2 > 1000 R_1$ . Sei  $R_1$  wie oben 1000 Siriometer oder 15 825 Lichtjahre, so folgt für  $R_2$  ein Wert größer als 15 825 000 Lichtjahre. Charlier nimmt nun an, daß  $N_2$  größer als der geschätzte Wert sei, indem er  $N_i$ , die Anzahl der Mitglieder jedes Systemes, gleich setzt, also auch den Wert  $N_1$  von  $10^6$ , den wir schon früher einmal verwendet haben. Man erhält dann  $R_2 > \sqrt{10^6} \cdot R_1$ , oder der Halbmesser des Systems der Spiralnebel muß größer sein als rund 490 Millionen Lichtjahre.

Auf analoge Weise liefert die Beziehung  $q_i > \sqrt{N_i} q_{i-1}$  einen Wert für den Abstand  $2 q_2$  zweier benachbarter Glieder des Systems  $G_2$ . Angenommen  $2 q_1$  im Milchstraßensystem sei gleich 2 Siriometer (31,7 Lichtjahre), so bekommt man  $2 q_2 = 1$  Million Lichtjahre.  $2 q_2$  ist aber gleichbedeutend mit dem Abstand des nächsten Spiralnebels von uns. — Auf anderem Wege gelangt Charlier zum gleichen Ergebnis. Er findet unter der Annahme  $N_2 = 10^6$  als Höchstwert für den Winkeldurchmesser des unserem System nächstgelegenen Systems  $G_1$  den Betrag von  $5^{\circ},73$ , bei einer Wahl von  $N_2 = 10^6$  den Betrag von  $1^{\circ},81$ . Tatsächlich hat der Andromedanebel (die uns nächste Spirale) einen Winkeldurchmesser von  $1^{\circ},8$ . Wieder unter der Annahme der Gleichartigkeit aller Systeme  $G_1$  ( $R_1 = 1000$  Siriometer) erhält Charlier, diesmal auf Grund des von der Franklin-Adams-Karte erhaltenen Wertes  $1^{\circ},8$ , eine mit der früher ermittelten übereinstimmende Entfernung von einer Million Lichtjahren. — Dies gäbe eine Parallaxe von  $0^{\circ}000\,0032$ . Es sei hier hingewiesen auf die höchst bemerkenswerte Übereinstimmung dieses Wertes mit dem von K. Lundmark<sup>5)</sup> ebenfalls für den Andromedanebel gefundenen im Ausmaße von  $0^{\circ}000\,0051$  mit dem m. F.  $\pm 0^{\circ}000\,0018$ . Lundmark ist von einer ganz anders gearteten Annahme ausgegangen. Sein Wert ergibt sich aus der Gleichsetzung des Maximums der absoluten Größe (Helligkeit) von 11 im Andromedanebel aufgeflammten neuen Sternen mit dem Maximum der absoluten Größe der neuen Sterne mit bekannter Parallaxe in der Milchstraße. Seither ist die Anzahl der bekanntgewordenen neuen Sterne im Andromedanebel auf 20 angewachsen. Luplau-Janssen und Haarh haben nun kürzlich<sup>6)</sup> dieses neue Material in ähnlicher Weise bearbeitet und eine Parallaxe von  $0^{\circ}000\,019$  gefunden. Sie haben sich auch außerdem noch einer anderen Methode bedient. Dieselbe besteht in der Annahme, daß die Dispersion der neuen Sterne in der Milchstraßenebene gleich sei der Dispersion der Novae des Andromedanebels in der Ebene seiner Längsachse. 33 galaktische neue Sterne ergaben eine mittlere Dispersion von ca. 4200 Lichtjahren, die 20 Novae im Andromedanebel eine scheinbare von ca.  $260''$ . Daraus ergibt sich eine Parallaxe

von  $0^{\circ}000\,001$  oder eine Distanz von ca. 3 Millionen Lichtjahren, womit im wesentlichen eine Bestätigung der Ergebnisse Lundmarks und Charliers gegeben ist.

Charlier versucht auch einen Überschlagswert für die Helligkeit der einzelnen  $G_i$  zu gewinnen. Unter der freilich recht unsicheren Annahme einer mittleren absoluten Helligkeit eines Sterns unseres Systemes von  $7^m$ , ergibt sich eine scheinbare Helligkeit des uns nächsten Spiralnebels zu  $4^m,5$  (in guter Übereinstimmung mit der Größenordnung des Andromedanebels).

Desgleichen werden Grenzwerte für die entferntesten Spiralnebel gegeben. Als Höchstwert für den Winkeldurchmesser ergibt sich (unter der Annahme  $R_1 = 10^3$ ,  $N_2 = 10^6$ )  $3',44$ ; bei  $R_1 = 10^3$  und  $N_2 = 10^6$ ,  $\alpha = 0',11$ . Die kleinsten gemessenen Winkeldurchmesser sind nun nach der auch in dieser Zeitschrift besprochenen neuen Lick-Arbeit Publ. XIII,  $0',2$ , daraus ergibt sich — aus analogen Überlegungen, wie oben für die Distanz der nächsten Spirale — für den entferntesten  $G_1$  des Systems  $G_2$  der Wert von 544 Millionen Lichtjahren, in guter Übereinstimmung mit dem früher theoretisch gefundenen  $R_2 > 490$  Millionen Lichtjahre. Die scheinbare Gesamthelligkeit des entferntesten Spiralnebels wird  $15^m$ , auch hier wieder im Einklange mit den Lick-Resultaten von 1918. Charlier weist nachdrücklich darauf hin, daß wir also in absehbarer Zeit eine photographische Festlegung aller Spiralnebel erwarten können, und so über eine Karte verfügen, die uns ein Bild der Verteilung der  $G_1$ , somit ein Bild des Systems zweiter Ordnung  $G_2$  verschafft, bevor wir noch eine genaue Karte aller Sterne unseres eigenen Milchstraßensystems besitzen werden!

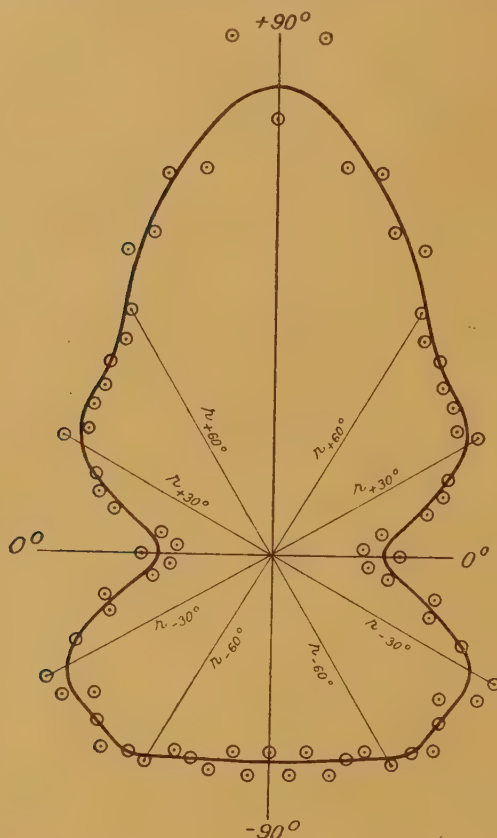
Um aber schon jetzt einen ungefähren Überblick zu erhalten, wurde auf der Sternkarte in Lund die galaktische Verteilung von 11 475 Spiralnebeln aus dem Dreyer-Katalog untersucht und bildlich dargestellt. Es zeigte sich die bekannte Erscheinung der scheinbaren Anhäufung dieser Objekte am Milchstraßenpole (insbesondere Nordpole). So kam in der Nähe der Milchstraße 1 Spirale auf 25 Quadratgrade, am Nordpole aber 50mal so viel. In der Milchstraße selbst, zwischen  $\pm 2^{\circ}5$  gal. Breite ist die Anzahl wieder etwas größer als in der Minimalzone. Die Nebel sind in deutlicher Analogie mit den Sternen in unserem System in einzelnen Wolkengruppen angehäuft. Es handelte sich nun darum, einen Schritt weiter zu gehen und den Versuch zu machen, ein Bild der Gestalt des Systems  $G_2$  zu erhalten. Nimmt man an, daß die  $G_1$ , absolut genommen, gleichmäßig im Raume verteilt seien, dann ist der Radiusvektor nach den Grenzen des Systems  $G_2$  proportional der dritten Wurzel aus den  $N$  in den verschiedenen Richtungen. Das Ergebnis der Rechnung liefert nebenstehende Figur. Das wäre also die Gestalt des unserer Milchstraßenwelt übergeordneten Systems  $G_2$ . Ins Auge springend ist die Einschnürung in der Richtung der Milchstraße. Charlier hält sie durch in der Milchstraßenebene

<sup>5)</sup> Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar. Band 60, Nr. 8. — Siehe auch Referat Guthnick in dieser Zeitschrift 1920, Heft 9.

<sup>6)</sup> Astronomische Nachrichten 215, 285.

angehäufte kosmische Nebel bedingt<sup>7)</sup>. Die auffallende Lage des Systems, dessen große Achse gerade senkrecht von der Ebene der Milchstraße geschnitten wird, erscheint *Charlier* wohl auch eigentümlich, aber doch nicht unmöglich.

Zusammenfassend ergeben die *Charlierschen* Überlegungen: Die unendliche Welt ist aus sphärisch (oder auch ellipsoidisch) angeordneten



Gestalt des Nebels 2. Ordnung nach *Charlier*, unter der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung der Spiralnebel im Raume. (Ohne diese Voraussetzung, also bei Realität der scheinbaren Konzentration, ergäbe sich für das System statt des Ellipsoides eine sphärische Form. Ist  $n_b$  die statistisch ermittelte Anzahl der Spiralen pro Quadratgrad, gesehen in der Richtung nach  $\pm 60^\circ$  galaktischer Breite, so ist der Abstand  $r_b$  zur Grenze des Systems in dieser Richtung  $= \sqrt[3]{n_b}$ . Die kleinen Ringe stellen die Endpunkte der von 5 zu 5° gezogenen Radiovektoren dar. In der Figur sind als Beispiele  $r+30^\circ$ ,  $r+60^\circ$ ,  $r-30^\circ$ ,  $r-60^\circ$  voll ausgezeichnet.

Spiralsystemen aufgebaut, deren eines unsere Milchstraßenwelt ist. Die Gesamtheit dieser Systeme bildet ein sphär. (ellips.) System zweiter Ordnung. Dieses ist wieder ein Mitglied eines Systems 3. Ordnung und so weiter. Die Halbmesser der Systeme zweier Größenordnungen folgen der Beziehung:  $R_i > \sqrt{N_i} \cdot R_{i-1}$ , wobei  $N_i$  die Anzahl der Mitglieder des Systems  $G_i$  bedeutet. Der Abstand zweier benachbarter Mitglieder des Systems zweiter Ordnung ist ca. 1 Million, der Durchmesser des Systems größer als 1 Milliarde Lichtjahre angesetzt. Das diesem

<sup>7)</sup> Vgl. hier die Annahmen *Hagens*, N. W. 1921, S. 938.

$G_2$  nächst benachbarte gleichgeordnete System  $G_2$  der *Charlierschen* Welt läge bereits außerhalb des Bereiches unserer Beobachtungsmöglichkeiten. Die Dimensionen unseres Milchstraßensystems sind bei *Charlier* verhältnismäßig niedrig angenommen<sup>8)</sup>. Nimmt man *Shapleys* Wert von  $2 R_1 = 300\,000$  Lichtjahren<sup>9)</sup>, so würde sich der Durchmesser des Systems der Spiralnebel auf 10 Milliarden erweitern. Ohne auf die Systeme dritter Ordnung einzugehen, würde schon der erste Wert den von *Kopff*<sup>10)</sup> angegebenen Betrag von 100 Millionen Lichtjahren für die Maximalentfernung im geschlossenen Raume übersteigen.

Läßt man die Frage nach den Dimensionen des Spiralnebelsystems noch offen, so erscheint vor allem die gute Übereinstimmung der Bestimmungen der Entfernung zum Andromedanebel von *Charlier*, *de Lundmark* und *Luplau-Janssen* bedeutungsvoll. So erhält dieser Wert ein breiteres Fundament und wir können der durch *Shapley* von 40 000 auf 300 000 Lichtjahre ausgeweiteten Sternenwelt eine neuerliche Erstreckung auf mindestens 1 Million Lichtjahre geben.

## Metallographische Mitteilungen.

**Röntgenkristallographische Untersuchungen an Eisen und Stahl.** Die vor etwa einem halben Jahre in dieser Zeitschrift kurz referierten Untersuchungen über den Bau der Eisenmodifikationen und der im Stahl auftretenden Konstituenten haben wir im letzten Jahre fortgesetzt.

Auch in diesen letzten Versuchen wurde die Röntgenstrahlung in einer Siegbahn'schen Metallröhre erzeugt. Diese wurde aber diesmal nicht wie früher mittels einer Molekularpumpe, sondern durch ein Aggregat Quecksilberpumpen vom Volmertypus (Chemische Werke, Berlin) evakuiert. Eine besondere Kühlung des Quecksilberdampfes erwies sich als unnötig. Um einen geeigneten Druck in der Röhre konstant zu erhalten, wurde derselben durch eine halbmeterlange Kapillare (Durchmesser etwa 0,2 mm) aus einer passend evakuierten Flasche kontinuierlich Luft zugeführt. Es gelang in dieser Weise die Spannung konstant zu erhalten, und die Röhre konnte ohne allzu lästige Aufsicht beliebig lange ohne Unterbrechung in Betrieb gehalten werden.

Bei der früheren Untersuchung enthielt das Debye-photogramm des  $\gamma$ -Eisens wegen der spontanen Kornvergrößerung des erhitzten Metalls keine kontinuierlichen Streifen, sondern nur einige wenige zerstreute Punkte. Um vollständigere Interferenzbilder erhalten zu können, wurde die für Hochtemperaturaufnahmen benutzte Kamera derart abgeändert, daß der glühende Eisendraht während der Exposition in Rotation gehalten werden konnte.

Fig. 1 stellt einen Querschnitt der Kamera dar. Sie besteht aus einem zylindrischen Bleigeäß mit Einfallstube A (2 mm Durchmesser) und Austrittsöffnung B. Die letztere ist mit einem Deckgläschen geschlossen. Der Deckel ist aus Ebonit, wodurch die

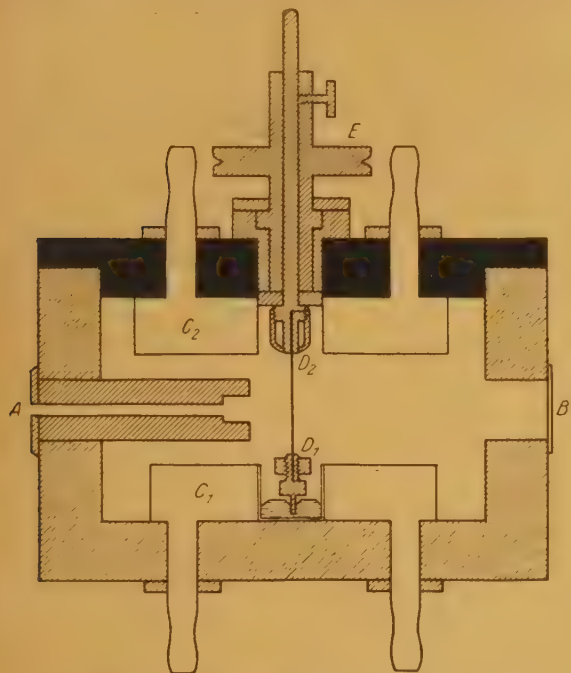
<sup>8)</sup> Stehen aber in Übereinstimmung mit den Anschauungen von *Curtis*. (Bulletin of the National Research Council Part. 2 — 1921.)

<sup>9)</sup> *Shapley*, „The scale of the universe“. (Bull. of the Nat. Res. Council.)

<sup>10)</sup> Naturwissenschaften 1921, Heft 39.



inneren Teile der Kamera von den äußeren elektrisch isoliert sind. Der zu untersuchende Eisendraht (0,3 mm Durchmesser; *Heraeus'* vakuumgeschmolzenes Elektrolyteisen) wird in den Schucken  $D_1$  und  $D_2$  eingespannt.  $D_1$  endet unten in einem Eisenstift, der in Quecksilber eintaucht,  $D_2$  ist mit einer Achse verbunden, die durch das kleine Drehrad  $E$  in Rotation gehalten werden kann. Durch Anlegen einer niedrigen Wechselstromspannung auf die zentralen Teile der Kamera und auf das Bleigefäß kann der Draht zum Glühen gebracht werden. Um eine Erwärmung der Kamera zu verhindern, sind zwei zylindrische Messinggefäße  $C_1$  und  $C_2$  darin angebracht, die durch Wasser gekühlt werden. Um Oxydation der Probe vorzubeugen, wird die Kamera mit Wasserstoff gefüllt. Der in einer schwarzen Papierhülle eingeschlossene Film



Kamera für Aufnahmen nach Debye-Scherrer von Metalldrähten bei hohen Temperaturen.

wird um das obere Kühlgefäß  $C_2$  festgespannt. In der Mitte der Hülle und des Films ist ein Loch gestanzt, so daß man durch  $B$  von außen her den Eisendraht beobachten kann. Seine Temperatur wurde mittels eines Holborn-Kurlbaumschen optischen Pyrometers bestimmt.

Es wurden Photogramme von Eisen bei  $800^\circ$ ,  $1100^\circ$  und  $1425^\circ$  aufgenommen. Sie enthielten alle kontinuierliche und ganz deutliche Streifen. Die bei den niedrigeren Temperaturen erhaltenen Interferenzbilder bestätigten den früheren Befund, daß das Eisen innerhalb des sog.  $\beta$ -Intervalls genau denselben Bau wie das  $\alpha$ -Eisen besitzt, d. h. raumzentriert kubisch ist, während das  $\gamma$ -Eisen ein flächenzentriert kubisches Gitter hat. Aus den bei  $1425^\circ$  aufgenommenen Photogrammen konnte geschlossen werden, daß in dem von  $1401^\circ$  bis zum Schmelzpunkt stabilen  $\delta$ -Eisen die Atome wiederum wie im  $\alpha$ -Eisen angeordnet sind. Die bei  $901^\circ$  ( $A_3$ ) eintretende Umwandlung des Eisens geht also bei  $1401^\circ$  ( $A_4$ ) zurück. Diese Tatsache steht mit den Angaben von Weiß und Foëx über die Veränderung der magnetischen Suszeptibilität des Eisens mit der Temperatur im besten Einklang.

Durch Untersuchung austenitischer Stähle verschiedenen Kohlenstoffgehalts konnte festgestellt wer-

den, daß der aufgelöste Kohlenstoff eine erweiternde Wirkung auf das  $\gamma$ -Eisengitter ausübt. Ein Kohlenstoffstahl (C: 1,98 %) hatte ein etwas größeres  $\gamma$ -Eisengitter, wenn er bei  $1100^\circ$  statt bei  $1000^\circ$  abgeschreckt wurde. Auch das  $\alpha$ -Eisen im Martensit schien in derselben Weise vom Kohlenstoff beeinflusst zu sein. Die Interferenzstreifen des  $\alpha$ -Eisens im Martensit waren aber sehr breit und diffus, weshalb es schwer war, die Lage ihrer Intensitätsmaxima genau zu bestimmen. Bezüglich der Dimensionen des fraglichen  $\alpha$ -Eisengitters konnten deswegen keine zuverlässigen Ergebnisse erhalten werden.

Wie P. Scherrer (*Zsigmondys Kolloidchemie*, 3. Aufl., Leipzig 1920) gezeigt hat, ist eine Verbreiterung der Linien in einem Debye-Scherrer-Photogramm ein Anzeichen von Feinkörnigkeit des untersuchten Kristallpräparates. Der Martensit ist also ein feinkristallinisches Produkt. Durch Vergleich eines Photogramms von einem in normaler Weise gehärteten eutektischen Kohlenstoffstahl mit einem von Scherrer wiedergegebenen Interferenzbild eines äußerst feinkörnigen Goldkolloids konnte geschlossen werden, daß die homogenen Gitterbereiche des  $\alpha$ -Eisens in diesem Stahl eine lineare Ausdehnung von nur etwa 20  $\text{\AA}$  ( $\text{\AA} = 10^{-8} \text{ cm}$ ) hatten. Die  $\alpha$ -Eisenkriställchen umfassen demgemäß nur einige Hunderte von Atomen.

Zuletzt wurde auch ein Versuch gemacht, die Kristallstruktur des Zementits ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) ausfindig zu machen. Aus Stahl (C: 1,25 %) und aus weißem Gußeisen isolierte Zementitpulverpräparate ergaben identische Photogramme. Sie enthielten eine Unzahl Linien, und es erwies sich als unmöglich, die Photogramme zu enträtseln.

Es wurde deswegen nach einer Ferrolegierung mit gut ausgebildeten Kristallen gesucht, die denselben Kristallbau wie Zementit besaß. Dadurch gelang es, festzustellen, daß die bekannten im Spiegeleisen oft anschließenden dünnen Kristallblättchen genau so wie der Zementit aufgebaut sind, d. h. daß dieselben nichts weiter als gut ausgebildete Zementitkristalle darstellen. Sie ergaben ein mit dem Zementitphotogramm identisches Interferenzbild.

Von einem derartigen Kristallblättchen wurde ein Lauephotogramm genommen, aus dem geschlossen werden konnte, daß der Zementit dem rhombischen System angehört. Das Achsenverhältnis war  $0,670 : 0,755 : 1$ , und die größte Achse betrug etwa 7  $\text{\AA}$ . Die Angaben waren aber noch zu unsicher, um eine vollständige Deutung des Debye-Photogramms zu gestatten. Deshalb wurde das Blättchen, dessen Achsenrichtungen jetzt bekannt waren, in einer Debye-Kamera exponiert, wobei es um eine der Achsen in Rotation gehalten wurde. Die Interferenzflecken längs der Mittellinie des Films müssen dann offenbar von Netzebenen herrühren, die mit der Rotationsachse parallel sind. Dieselben konnten dadurch ziemlich leicht identifiziert werden, und es gelang in dieser Weise die dem Debye-Photogramm entsprechende quadratische Formel aufzustellen.

Nach derselben enthält das Elementarparallelepiped des Zementits vier Moleküle  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Seine Dimensionen sind 4,53, 5,11 und 6,77  $\text{\AA}$ . Demgemäß muß das spez. Gewicht des Zementits 7,62 betragen, was sehr gut mit dem aus der Veränderung des spez. Volumens der Kohlenstoffstähle mit dem Kohlenstoffgehalt berechneten Wert 7,59 übereinstimmt.

Vollständigere Berichte über die Untersuchung werden bald in der Zeitschrift für physikalische Chemie und im Journal of the Iron and Steel Institute erscheinen.

Arne Westgren und Gösta Phragmén.

**Die Frage der  $\beta$ -Modifikation und die mechanischen Eigenschaften des Eisens.** Bekanntlich bietet die Deutung der in Eisen bei hohen Temperaturen auftretenden allotropischen Modifikationen erhebliche Schwierigkeiten. Bei der thermischen Behandlung des Eisens finden sich thermische Effekte, ein kleiner bei ca.  $770^\circ$  ( $A_2$ ) und ein großer bei ca.  $990^\circ$  ( $A_3$ ). Oberhalb  $A_3$  wird die Existenz der flächenzentrierten  $\gamma$ -Modifikation, unterhalb  $A_2$  die des raumzentrierten  $\alpha$ -Eisens angenommen. Diese beiden Eisenmodifikationen sind unzweideutig nachgewiesen. Was jedoch zwischen  $A_2$  und  $A_3$  vor sich geht, weiß man nicht recht. Viele nehmen hier eine selbständige dritte Modifikation, das  $\beta$ -Eisen an. Diese Annahme wurde jedoch vielfach bestritten; das Eisen, das unterhalb  $A_2$  ferromagnetisch ist, verliert diese Eigenschaft in der Nähe von  $A_2$ , und dadurch können gewisse thermische und dilatometrische Effekte hervorgerufen werden, die zur Erklärung der bei  $A_2$  beobachteten ausreichen könnten. Diese Frage scheint jetzt zuungunsten der Annahme einer  $\beta$ -Modifikation durch den röntgenometrischen Nachweis, daß das Raumgitter des Eisens im Temperaturgebiet der vermeintlichen  $\beta$ -Modifikation mit dem des  $\alpha$ -Eisens identisch ist<sup>1)</sup>, entschieden zu sein, nachdem von anderer Seite<sup>2)</sup> auch an einem ausgedehnten Tatsachenmaterial gezeigt worden ist, daß die Annahme des  $\beta$ -Eisens auch das Verständnis des schwierigen Problems der Stahlhärtung (der Martensitstruktur) nicht vermitteln kann. Da andererseits das Eisen beim Passieren des  $A_2$ -Punktes zweifellos Änderungen seiner Eigenschaften erleidet, so tritt immer dringender das Problem auf, diese Änderungen nun unter konsequenter Verzichtleistung auf die Annahme einer  $\beta$ -Umwandlung überzeugend zu deuten.

Um was für Probleme es sich hierbei zum Beispiel handeln kann, zeigt ein in der Versammlung des Iron and Steel Institute gehaltener Vortrag von Dupuy<sup>3)</sup>, der die Zerreißfestigkeit und die beim Zerreißen eintretende Querkontraktion der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen in Abhängigkeit von der Temperatur feststellte. Besonders charakteristisch sind die die Querkontraktion betreffenden Resultate, die ja zugleich ein indirektes Maß für die Geschmeidigkeit des Materials sind. Diese Resultate sind an der Reproduktion eines Gipsmodells in Fig. 1 dargestellt. Wir wollen sie an Hand eines Teils des Eisen-Kohlenstoff-Diagramms (Fig. 2) interpretieren.

Oberhalb der Temperaturen der Linie  $DCA_3$  befinden sich die Stähle im Zustand homogener Mischkristalle. Beim Unterschreiten dieser Linie scheidet sich im Gebiete  $DCG$  der Cementit  $Fe_3C$ , und im Gebiete  $A_3BCA_1$  das freie Eisen — der Ferrit — aus. Unterhalb  $GCA_1$  ist die Zersetzung der  $\gamma$ -Phase vollendet, und der gesamte Stahl besteht aus Cementit und Ferrit. Bei der Temperatur der Linie  $BA_2$  findet nur die geringe Wärmetönung statt, die oft als  $\alpha$ - $\beta$ -Umwandlung gedeutet worden ist. Nimmt man die Existenz einer selbständigen  $\beta$ -Modifikation an, so wird man das Gebiet  $ABCF$  in zwei Teilgebiete trennen, nämlich  $A_3BA_2$ , in dem der Stahl aus  $\gamma + \beta$ , und  $BCA_1A_2$ , in dem er aus  $\gamma + \alpha$  besteht<sup>4)</sup>.

<sup>1)</sup> Arne Westgren, Naturwissenschaften 9, 859, 1921.

<sup>2)</sup> Maurer, Mitteilungen aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung Band I, Seite 39.

<sup>3)</sup> Vorgetragen in Paris auf der Versammlung des Iron and Steel Institute im September 1921, Engineering CXII, S. 391; 427 (1921).

<sup>4)</sup> Bei dieser kurzen Darstellung ist von der langsam eintretenden Zersetzung des Cementits unter Ausscheidung von Kohlenstoff (Graphit) abgesehen worden.

Trägt man nun in Fig. 2 als dritte Koordinate die Querkontraktionen der Stähle nach oben auf, so erhält man Fig. 1. Man sieht, wie die Eigentümlichkeiten des Zustandsdiagramms (Fig. 2) sich hier markieren. Dem  $\gamma$ -Zustande entspricht das hohe vorspringende (bei C) Plateau mit sehr hohen Querkontraktionen (große Geschmeidigkeit). Bei C stürzt es jäh ab zu sehr kleinen Werten, die für den  $Fe_3C + \alpha$ -Zustand charakteristisch sind, solange das  $\alpha$ -Eisen nicht stark vorherrscht. Mit zunehmendem Gehalt an  $\alpha$ -Eisen nimmt in diesem Gebiet die Kontraktion zu — die Legierungen werden geschmeidiger, wie das von kohlenstoffarmen Stählen auch bekannt ist. Für das reine

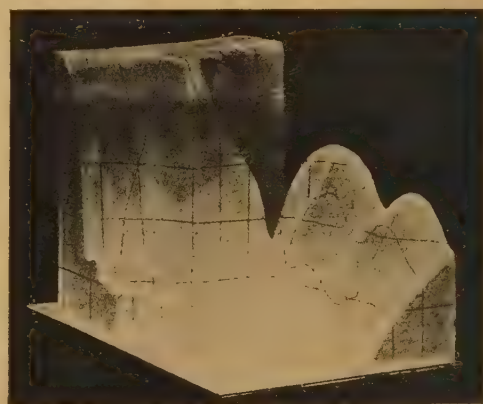


Fig. 1.

Eisen ergibt sich eine eigenartige Temperaturabhängigkeit der Querkontraktion. Dieselbe steigt erst bei von Zimmerwärme steigender Temperatur an, sinkt dann aber wieder im Temperaturgebiet um  $300^\circ$ . Es ist dies das Gebiet der bekannten *Blaubruchigkeit* des Eisens. Dann steigt sie wieder an, um, etwa im Ge-

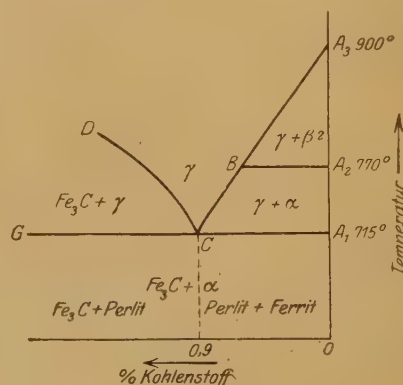


Fig. 2.

biet des  $\beta$ -Eisens ( $A_3BA_2$ , Fig. 2), zu sehr geringen Werten zu sinken, von denen es sich bei Erreichung des  $\gamma$ -Feldes rapide zu sehr hohen Werten erhebt. — Im Gebiet  $DCG$  nimmt die Querkontraktion mit zunehmendem  $\gamma$ -Gehalt (Annäherung an das  $\gamma$ -Feld) allmählich, wenn auch nicht gleichmäßig, zu.

Der tiefe Einschnitt der Fig. 1 in dem dem  $\beta$ -Eisen entsprechenden Gebiet ist außerordentlich auffallend. Wenn man auch aus technischen Deformationsmessungen keine direkten Schlüsse auf Entstehung von neuen Modifikationen ziehen darf, so muß man doch die außerordentlich geringe Zähigkeit des Eisens im  $\beta$ -Gebiet als beirendend und der Erklärung dringend bedürftig betrachten.



Die Abhängigkeit der Geschmeidigkeit vom Kohlenstoffgehalt im  $\text{Fe}_3\text{C} + \alpha$ -Gebiet, wie sie in Fig. 1 wahrzunehmen ist, veranlaßt noch eine Bemerkung. Bei der Konzentration des Punktes  $C$  (Fig. 2) liegen der Cementit  $\text{Fe}_3\text{C}$  und der Ferrit ( $\alpha$ -Eisen) in Gestalt eines außerordentlich feinen eutektoidischen Gemenges, des *Perlits*. Bei den kohlenstoffärmeren Stählen besteht das Gefüge aus perlitischer Masse mit dazwischenliegenden Säumen und Gebieten aus reinem  $\alpha$ -Eisen (Ferrit). Es zeigt sich nun, daß beim Zerreißversuch nur der Ferrit nennenswert fließt. Die Querkontraktion kommt in der Weise zustande, daß die Ferritsäume eine Längsdehnung erfahren und die Perlitteile näher aneinanderrücken. Sobald sie einander berühren, ist die Möglichkeit einer weiteren Querkontraktion erschöpft, der Stab zerreißt. Der Cementit  $\text{Fe}_3\text{C}$  ist sehr spröde und kann in den Zustandsgebieten links von  $C$ , wo er dem Perlit gegenüber im Überschuß vorliegt, die ohnehin verhältnismäßig geringe Geschmeidigkeit des Perlits nur noch weiter herabsetzen.

Masing.

**Wirkung reduzierender Gase auf erhitztes Kupfer.** Es ist seit langer Zeit bekannt, daß gewöhnliches Kupfer eine Erhitzung auf Rotglut im Wasserstoff nicht verträgt. Es ist auch bekannt (*Heyn* und andere), daß bei der Erhitzung in Wasserstoff über  $600^\circ$  das zwischen den metallischen Kupferkristalliten stets vorhandene Kupferoxydul reduziert wird und daß zwischen den Kristallen zahlreiche feine Risse entstehen. Durch diese wird die scheinbare Dichte von 8,9 auf 8,4 herabgesetzt, das Volumen entsprechend vergrößert und die mechanischen Eigenschaften selbstverständlich außerordentlich beeinträchtigt. Es ist auch bereits bekannt (*Johnson*), daß durch Zusatz von Ferrosilizium zum Kupferschmelzfluß das Kupfer desoxydiert wird und danach gegen Reduktionsmittel nicht mehr empfindlich ist.

In einer im *Journal of the Inst. of Metals*, März 1921 (auch *Engineering* Vol. CXI, Nr. 2893, 10. 6. 1921, Seite 729) erschienenen Arbeit von *Moore* und *Beckinsale* wird das Verhalten des oxydulhaltigen (hauptsächlich 0,08 O) Kupfers gegen Reduktionsmittel sehr eingehend untersucht. Es zeigt sich, daß Wasserstoff bereits bei  $600^\circ$  stark einwirkt, Kohlenoxyd etwa von  $800^\circ$  an, Leuchtgas bereits von  $600^\circ$  an (bei letzterem ist die Einwirkung langsamer als bei Wasserstoff, aber die Herabsetzung der technischen Eigenschaften noch größer), und daß auch die reduzierende Gasflamme langsam von  $600^\circ$  beginnend das Kupfer schädigt. Desoxydierende Zusätze, wie Ferrosilizium, Cupromangan, Aluminium, Phosphorkupfer, Zink, machen das Kupfer völlig immun gegen reduzierende Gase. Ein Umschmelzen von Kupfer im Wasserstoff führt zunächst nicht zum Ziel: das Kupfer löst im Schmelzfluß erhebliche Mengen von Wasserstoff auf, die es beim Erstarren unter Bildung von großen Hohlräumen abgibt. Das ist auch einer der Gründe, warum beim technischen Einschmelzen von Kupfer Gegenwart von Wasserstoff sorgfältig vermieden werden muß, und warum man auf sorgfältige Desoxydation des reinen Kupfers verzichtet und den Oxydulgehalt mit in Kauf nimmt. Diese Schwierigkeit läßt sich beheben, wenn man das Kupfer im Wasserstoff einschmilzt und nach erfolgter Reduktion des Kupferoxyduls (30 Minuten bei  $1150^\circ$ ) den Wasserstoffdruck auf 250 mm Hg herabsetzt, das Kupfer nun erstarren läßt, wieder unter vermindertem Druck schmilzt und noch einmal erstarren läßt. Das so erhaltene Kupfer ist fehlerfrei; frei von Sauerstoff und wird durch Erhitzung in einer reduzierenden Atmosphäre nicht geschädigt.

Damit ist der definitive Nachweis erbracht, daß nur der Kupferoxydulgehalt die Ursache der schädigenden Wirkung der reduzierenden Gase ist, und zwar, weil das Kupferoxydul von diesen reduziert wird. Die Oxyde der zugesetzten Desoxydationsmittel werden vom Wasserstoff nicht reduziert und sind deshalb nicht in einer ähnlichen Weise schädlich, wie das leicht reduzierbare Kupferoxydul.

Wenn das Kupfer für elektrische Leitungszwecke gebraucht wird, ist der Zusatz der meisten Desoxydationsmittel wegen Gefahr der Mischkristallbildung und der Herabsetzung der Leitfähigkeit des Kupfers nicht zu empfehlen. Es sei erwähnt, daß Arsen nicht als Desoxydationsmittel in Frage kommt, wie vielfach angenommen wurde.

Masing.

## Astronomische Mitteilungen.

**Die periodische Veränderlichkeit des Spektraltypus bei  $\delta$ -Cephei-Veränderlichen.** Bei den veränderlichen Sternen des  $\delta$ -Cephei-Typus unterliegt das Spektrum verschiedenen gearteten Veränderungen, die der Periode des Lichtwechsels folgen. Alle untersuchten Sterne dieser Art haben eine veränderliche Radialgeschwindigkeit, wie sie einem Doppelstern zukommen würde; unerklärt ist die Tatsache, daß das negative Maximum der Geschwindigkeit mit dem Helligkeitsmaximum, das positive Geschwindigkeitsmaximum mit dem Helligkeitsminimum zusammenfällt, während bei Bedeckungsveränderlichen die Helligkeitsextreme viel unregelmäßiger um die Extreme der Radialgeschwindigkeit verteilt sind.

Ferner verändert sich die Helligkeitsverteilung im kontinuierlichen Spektrum, dem Helligkeitsmaximum entspricht eine höhere effektive Temperatur. Diese Veränderung ist belegt durch die Veränderlichkeit des Farbenindex;  $\delta$ -Cephei-Veränderliche sind im Minimum gelber als im Maximum, die photographisch gemessene Amplitude ihres Lichtwechsels ist infolgedessen im Durchschnitt um eine halbe Größenklasse größer als die durch visuelle photometrische Messungen bestimmte.

Ebenso wie das kontinuierliche durchläuft auch das *Linienpektrum* periodische Veränderungen. Als charakteristisches Merkmal ist fast immer die Intensität der Wasserstoffabsorptionslinien benutzt worden. Durch Aufsuchen derjenigen typischen Sterne in der allgemeinen Spektralreihe, in denen die Wasserstofflinien dieselben Intensitätsverhältnisse im Vergleich zu den anderen Linien des Spektrums zeigen, läßt sich eine Verschiebung des Spektraltypus um etwa eine Klasse (z. B. von  $F$  nach  $G$ ) während des Lichtwechsels feststellen; dem Helligkeitsminimum entspricht ein späterer Spektraltypus. Die so bestimmte Änderung des Spektraltypus und die Änderung des Farbenindex stehen in demselben Verhältnis zueinander wie in der allgemeinen Folge der Spektraltypen (Änderung des Farbenindex in Größenklassen =  $0,4 \times$  Änderung des Spektraltypus in Klassen).

Durch eine Untersuchung von *Adams* und *Joy*<sup>1)</sup> waren Zweifel daran entstanden, ob es sich hierbei wirklich um eine Änderung des ganzen physikalischen Zustandes handelt, wie er sich durch das Spektrum ausdrückt. Anlaß zu solchen Zweifeln gab gerade der Umstand, daß allen diesen Bestimmungen die Intensität des Wasserstoffspektrums zugrunde lag. Es hat sich aber inzwischen herausgestellt, daß die Wasser-

<sup>1)</sup> Some spectral characteristics of Cepheid variables. *Proceedings of the National Academy of Sciences* Vol. 4.



stofflinien bei den Sternen großer Leuchtkraft (Riesen) in den Typen *G*, *K* und *M* viel kräftiger sind, als sonst dem Spektraltypus, wie er sich aus den anderen Linien ergibt, zukommt. Wird also der Typus in einem solchen Falle nur nach den Wasserstofflinien geschätzt, so fällt er zu früh aus. Es können auf diese Weise Unterschiede von einer ganzen Klasse auftreten, indem z. B. die Intensität des Wasserstoffspektrums dem Typus *G* 5 entspricht, während sich aus den Merkmalen des allgemeinen Spektrums (Vorhandensein gewisser Bogenlinien usw.) *K* 5 ergibt. Da nun auch im Spektrum der  $\delta$ -Cephei-Veränderlichen die Wasserstofflinien ungewöhnlich stark sind (es handelt sich durchweg um Sterne sehr großer absoluter Helligkeit), haben *Adams* und *Joy* neben dem Wasserstoffspektrum auch das allgemeine Spektrum für die Schätzung des Typus im Maximum und Minimum bei 9 Cepheiden von nahezu gleichem Typus benutzt. Sie kommen zu diesem Resultat:

|                    | Wasserstoff | Allgemeines Spektrum |
|--------------------|-------------|----------------------|
| Helligkeitsmaximum | F 1         | F 9                  |
| Helligkeitsminimum | F 7         | G 0                  |

Abgesehen von dem erwarteten Ergebnis, daß in beiden Fällen der Wasserstoff einen zu frühen Typus ergibt, zeigt sich also, daß dieser Unterschied im Helligkeitsminimum erheblich kleiner ist, daß also die angebliche Schwankung des Spektraltypus in der Hauptsache eine Eigentümlichkeit des Wasserstoffspektrums ist.

In Widerspruch damit befindet sich eine ausführliche Untersuchung von *Albrecht*<sup>2)</sup>, die sich auch auf das allgemeine Spektrum bezieht, aber eine ganz andere Methode verwendet. *Albrecht* hat bereits vor Jahren<sup>3)</sup> eine große Reihe von Linien verschiedener Elemente ausfindig gemacht, für die sich in den verschiedenen Spektraltypen verschiedene Werte für die Wellenlänge

sind, wie ein Vergleich mit dem Sonnenspektrum zeigt, Gruppen von Linien verschiedener Elemente. In den verschiedenen Spektraltypen sind nun die relativen Intensitäten der beieinanderstehenden Linien ganz verschieden; manche sind in späteren Typen stärker, andere schwächer. Zum großen Teil entsprechen diese Intensitätsänderungen dem Unterschiede zwischen Sonnen- und Sonnenfleckenspektrum, Funken- und Bogenspektrum. Aus diesen Änderungen der relativen Intensität ergeben sich, wenn infolge geringerer Dispersion die Gruppen sich nicht auflösen lassen, die scheinbaren Verlagerungen, die dieser Methode als Maßstab dienen. Es handelt sich also eigentlich auch hier um eine Bewertung der Linienintensität im allgemeinen Spektrum, es wird jedoch ein zusammengesetzter, der scharfen Messung zugänglicher Effekt dazu benutzt.

Mit Hilfe der Kurven, die sich bei der durchgehenden Untersuchung der Spektralreihe ergeben haben, kann nun für jedes Spektrogramm eines  $\delta$ -Cephei-Veränderlichen aus der gemessenen Verschiebung der geeigneten Linien der zu dieser Phase gehörige Spektraltypus bestimmt werden. *Albrecht* untersucht als Probebeispiel 17 Spektrogramme des Veränderlichen 1 Carinae (Periode 35,5 Tage), die 17 verschiedenen Phasen des Lichtwechsels entsprechen: er benutzt 33 Linien zwischen  $\lambda$  4236 und  $\lambda$  4495 (unter im ganzen 178 gemessenen Linien dieses Intervalls). Die Werte des Spektraltypus, die sich für dieselbe Phase aus den einzelnen Linien ergeben, streuen zwar über  $1\frac{1}{2}$  Klassen (was auf anderweitig begründete, für alle Phasen konstante Verschiebungen der Linien zurückzuführen ist), der Gang vom Maximum zum Minimum und zurück zeigt sich aber bei allen Linien mit unzweifelhafter Übereinstimmung. Im Mittel aus allen Linien, das zu bilden infolge des gleichen Gangs einen Sinn hat, ergeben sich für die 17 Phasen die folgenden Werte:

| Phase in Tagen<br>nach dem Max. | 2,1  | 2,6  | 3,6  | 6,7  | 11,6 | 12,5 | 17,1 | 17,6 | 21,0 | 21,9 | 23,0 | 24,0 | 24,5 | 29,6 | 30,1 | 32,2 | 33,2 |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Spektraltypus                   | F9,0 | F9,4 | G0,2 | G1,5 | G3,7 | G4,4 | G7,5 | G8,1 | G9,3 | G9,4 | G9,0 | G8,6 | G8,1 | G3,8 | G1,8 | F9,5 | F8,0 |

ergeben. Es handelt sich um ein stetiges Wachsen oder Abnehmen der Wellenlänge beim Durchlaufen der einzelnen Stufen der Spektralreihe. Der Sinn und der Betrag der Änderung sind individuelle Merkmale der einzelnen Linien. Es gibt Linien, die völlig konstant bleiben durch alle Typen hindurch (aus solchen Linien muß die Radialgeschwindigkeit bestimmt werden), recht viele jedoch verschieben sich mehr oder weniger stark (bis zu 0,3 Å) nach Violett oder Rot, wenn man die Reihe von *F* bis *M* durchläuft (auf die wenigen Linien der Typen *B* und *A* läßt sich die Methode natürlich nicht anwenden). Man hat also in jedem Diagramm, das die Wellenlänge einer Linie mit den Typen in Verbindung setzt, ein Mittel, den Spektraltypus eines Sterns aus der gemessenen Wellenlänge dieser Linie zu bestimmen. Jede gemessene Linie gibt eine unabhängige Bestimmung des Typus, so daß aus einem Spektrogramm eine ganze Reihe unabhängiger Bestimmungen entnommen werden kann.

Im Grunde genommen handelt es sich hierbei nicht um Verschiebungen einzelner Linien. Alle diese Linien

Die auf diesem Wege gefundene Änderung des Spektraltypus befindet sich in voller Übereinstimmung mit den Bestimmungen aus dem Wasserstoffspektrum und den Messungen des Farbenindex, so daß wohl anzunehmen ist, daß den Temperaturschwankungen, die sich durch die Intensitätsänderungen des kontinuierlichen Spektrums kundgeben, auch der Spektraltypus in der normalen Weise folgt. Wie der Widerspruch des Resultates von *Adams* und *Joy* zu erklären ist, läßt sich nicht sogleich übersehen, vermutlich ist er durch die spezielle Auswahl der verwendeten Linien des allgemeinen Spektrums verursacht.

Es ist zweifellos sehr aussichtsreich, diesen Weg weiterzugehen und (eventuell mit einer Verschmelzung beider Methoden, wie *Albrecht* anregt) eine größere Zahl von Variablen zu untersuchen. Es könnte sich dabei ergeben, wie schnell der physikalisch-chemische Zustand solchen raschen Temperaturänderungen zu folgen vermag. Auch erscheint nicht unmöglich, daß sich infolge verschieden starker Verzögerungen einzelner Elemente oder Liniengruppen nicht die reinen Typen der Spektralreihe, sondern Mischtypen ergeben. Die individuellen Besonderheiten der einzelnen Sterne würden recht spezielle Aufschlüsse über die Vorgänge in den Sternatmosphären versprechen. *Kruse*.

<sup>2)</sup> Wave-lengths and periodic changes of spectral lines in the variable star 1 Carinae. *Astrophysical Journal* 54.

<sup>3)</sup> *Astrophysical Journal* 24 und 33.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von

**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 21. (Seite 489—504)

26. Mai 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Zum Gültigkeitsbereich der Naturgesetze. Von *W. Nernst, Berlin.* S. 489.

Über die Polarfronttheorie nach Bjerknes und die neueren Anschauungen von den atmosphärischen Vorgängen. Von *Erich Kuhlbrodt, Hamburg.* (Mit 5 Abbildungen.) S. 495.

Besprechungen:

Ostwald, Wilhelm, Die Farbenlehre. 4. Buch. Von *A. Brückner, Jena.* S. 503.

Lind, S. C., The Chemical Effects of Alpha Particles and Electrons. Von *H. v. Halban, Würzburg.* S. 504.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Soeben erschien:

## Der Aufbau der Materie

Drei Aufsätze über moderne Atomistik und Elektronentheorie

Von **Max Born**

Zweite, verbesserte Auflage

Mit 37 Textabbildungen. (VI, 86 S.)

Preis M. 36.—

### Inhaltsverzeichnis:

#### Das Atom.

Einleitung. 1. Elektronen und Kerne. 2. Aufbau des Atoms. 3. Die Atomistik der Elektrizität. 4. Die positive Elektrizität. 5. Die Ladung des Elektrons. 6. Die Größe der Elektronen und Kerne. 7. Thomsons Atommodell. 8. Rutherfords Kerntheorie. 9. Die Interferenz der Röntgenstrahlen. 10. Die Röntgenspektren. 11. Der Atombau. 12. Chemische Folgerungen. 13. Die sichtbaren Spektren. 14. Die Quantentheorie der Atome. 15. Der Aufbau der Kerne. Literatur.

#### Vom mechanischen Äther zur elektrischen Materie.

Einleitung. 1. Die elastische Lichttheorie. 2. Die elektromagnetische Lichttheorie. 3. Die Atomistik. 4. Die Gittertheorie der Kristalle. 5. Die elektrische Natur der Molekularkräfte. 6. Atomgitter. 7. Elektrolytische Ionen. 8. Ionengitter. 9. Elektrische Kontraktionskraft. 10. Die Abstoßungskraft. 11. Die Berechnung der Kompressibilität. Literatur.

#### Die Brücke zwischen Chemie und Physik.

1. Die Probleme der chemischen Affinitätslehre. 2. Die chemischen Elementargrößen. 3. Die Bindungsenergie zweiatomiger Molekeln. 4. Die Energie der Kristallgitter. 5. Reaktionen zwischen binären Salzen. 6. Die Ionisierungsenergie der positiven Ionen. 7. Die Elektronenaffinität der elektronegativen Atome. 8. Die Ionisierungsenergie der Halogenwasserstoffe. 9. Die Verdampfungswärme der einwertigen Metalle. 10. Ausblick. Literatur.

**Zu beziehen durch jede Buchhandlung**

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 60.— für das zweite Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 6.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40 % Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6550-59. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20120 Julius Springer,  
Konten: für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118996 Julius Springer.

# Hundertjahr-Feier der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte

vom 18. bis 24. September 1922 in Leipzig

Für die Versammlung ist folgendes Programm in Aussicht genommen:

#### Sonnabend, den 16. September:

- 11 Uhr Vormittag: Ausstellungs-Eröffnung für die Presse.
- 12 Uhr Mittag: Offizielle Eröffnung der Ausstellung im Ausstellungsgelände.
- 3 Uhr Nachmittag: Besuch der Ausstellung durch den Vorstand.

#### Sonntag, den 17. September:

- Ab 8 Uhr Abend: Zusammenkunft in den oberen Sälen des Krystallpalastes.

#### Montag, den 18. September:

- 9 Uhr Vormittag: Begrüßungs-Ansprachen. 1. Allgemeine Sitzung. Thema: Die Relativitätstheorie.
  - a) Prof. Dr. Einstein, Berlin: Die Relativitätstheorie in der Physik.
  - b) Prof. Dr. Schlick, Kiel: Die Relativitätstheorie in der Philosophie.
- 2 Uhr 30 Min. Nachmittag: Sitzung der medizinischen Hauptgruppe. Thema: Die Wiederherstellungschirurgie.
  - a) Prof. Dr. Bier, Berlin: Über Regeneration, insbesondere beim Menschen.
  - b) Prof. Dr. Lexer, Freiburg i. Br.: Transplantation und Plastik.

#### Dienstag, den 19. September:

- 9 Uhr Vormittag: II. Allgemeine Sitzung. Thema: Die Vererbungslehre.
    - a) Prof. Dr. Johannsen, Kopenhagen: Hundert Jahre der Vererbungs-forschung.
    - b) Prof. Dr. Meisenheimer, Leipzig: Äußere Erscheinungsform und Vererbung.
    - c) Dr. Lenz, Herrsching-Oberbayern: Die Vererbungslehre beim Menschen.
  - 2 Uhr 30 Min. Nachmittag: Gemeinsame Sitzung der beteiligten Abteilungen beider Hauptgruppen. Thema: Über Elektrolytwirkungen im Organismus.
    - Berichterstatte: Prof. Dr. Wo. Ostwald, Leipzig
    - Prof. Dr. Höber, Kiel
    - Prof. Dr. Spiro, Basel.
- Außerdem: Abteilungssitzungen.

#### Mittwoch, den 20. September:

- 9 Uhr Vormittag: Sitzung der naturwissenschaftl. Hauptgruppe: Geophysikalisch-geographische Themata.
- 9 Uhr Vormittag: Prof. Dr. Walther, Halle: Fortschritt und Rückschritt im Laufe der Erdgeschichte.
- 10 Uhr Vormittag: Prof. Dr. Hellmann, Berlin: Deutschlands Klima.
- 11—11 Uhr 30 Min.: Pause.
- 11 Uhr 30 Min. Vormittag: Sven Hedin, Stockholm: Das Hochland von Tibet und seine Bewohner.
- Nachmittag und folgende Tage: Abteilungs-Sitzungen und gemeinsame Sitzungen.

### Die Geschäftsführung

Geh. Med.-Rat Prof. Dr. von Strümpell

Geh. Med.-Rat Prof. Dr. Sudhoff

Geh. Rat Prof. Dr. Wiener

Prof. Dr. Meisenheimer

Dr. Weigoldt, Schriftführer



## Zum Gültigkeitsbereich der Naturgesetze.

Von W. Nernst, Berlin.

Daß unsere Naturgesetze sämtlich rein erfahrungsmäßig sind und daher aprioristisch nicht erschlossen werden können, wird jetzt wohl nirgends mehr bestritten. Noch *Schopenhauer* z. B. dachte anders darüber, indem er behauptete, das Gesetz der Erhaltung der Materie sei a priori klar. Heute halten wir dies Gesetz in der Form, wie es *Lavoisier* begründete und wie es auch noch *Schopenhauer* als selbstverständlich ansah, überhaupt gar nicht mehr für richtig, indem nach den bekannten Formeln von *Einstein* auch Energieabgabe einen Massenverlust bedeutet. Wir halten also daran fest, ein Naturgesetz ist nichts anderes als idealisierte Erfahrung, eine glückliche Zusammenfassung einer mehr oder weniger großen Zahl von Beobachtungstatsachen.

Damit ist nun aber keineswegs gesagt, daß der Weg zur Entdeckung eines Naturgesetzes notwendig über die Betrachtung des Tatsachenmaterials führen muß, das es beherrschen soll. Besonders häufig wird durch Analogieschlüsse die Gültigkeit von Gesetzen vermutet, die dann erst nachträglich durch besondere Beobachtungen geprüft werden müssen. Oft ist eine Vorstellungsweise, die in einzelnen Fällen sich bereits bewährt hat, außerordentlich fruchtbar auch für die Behandlung scheinbar ganz andersartiger Phänomene. Da kommt es nun vor, daß eine Vorstellungsweise trotz vieler Erfolge aufgegeben werden muß, weil sie irgendwo versagt und daher durch eine andere zu ersetzen ist. In solchen Fällen sagte man früher, die ältere Vorstellungsweise sei falsch gewesen, worin natürlich liegt, daß man die neue für richtig hält. Gegenwärtig ist man bescheidener geworden. Wie *Boltzmann*<sup>1)</sup> gelegentlich ausführt, sagt man besser, die neue Vorstellungsweise sei ein zweckmäßigeres Abbild der Tatsachen als die ältere. Damit ist klar ausgedrückt, daß auch die alte Theorie von Nutzen war, indem sie zu brauchbaren Gesetzen führte, sowie auch, daß die Möglichkeit vorliegt, daß die neue Theorie durch eine noch zweckmäßigere verdrängt werden kann.

Ein berühmtes Beispiel hierfür bildet eine Theorie von *Fourier*. Von der Annahme ausgehend, daß die Wärme wie eine Flüssigkeit strömt, entwickelte er gerade vor hundert Jahren eine mathematisch-physikalische Theorie der Wärmeleitung, die im wesentlichen auch heute noch als

vollendet gelten kann. Gegenwärtig betrachtet man die Wärme als einen Bewegungszustand. In den meisten Fällen führt die neue Auffassung zur Grundgleichung von *Fourier*, nur bei äußerst verdünnten Gasen liefert sie in Übereinstimmung mit der Erfahrung gänzlich abweichende Ergebnisse.

Dies einfache Beispiel ist durchaus typisch; von einer Vorstellung ausgehend, die später durch eine zweckmäßigere ersetzt wurde, fand *Fourier* ein Gesetz, das zwar nicht überall zutrifft, aber doch für sehr viele Fälle hinreichend genau ist und daher in diesen Fällen stets benutzt werden wird. In den *Fourierschen* Formeln der Wärmeleitung sind also, wie wir wohl sagen können, Ewigkeitswerte enthalten, trotzdem einerseits die Vorstellung, von der er ausging, völlig sich wandelte, und trotzdem andererseits seine Formeln in einzelnen extremen Fällen ungenau werden oder ganz versagen.

Von den Vorstellungen, die zur Ableitung von Naturgesetzen führten, wollen wir im folgenden meistens absehen und nur festhalten, daß dem Wechsel solcher Auffassungen immer auch notwendig eine Umgestaltung von Naturgesetzen entspricht, die allerdings keineswegs die alten Gesetze völlig umwirft, sondern sie immer nur für gewisse mehr oder weniger extreme Fälle verändert. Und ferner lehrte uns bereits obiges Beispiel, daß ein Naturgesetz notwendig eine ganz präzise Fassung erhalten, d. h. in eine mathematische Formel gekleidet sein muß. Nur der streng quantitative Charakter eines Naturgesetzes ermöglicht die Prüfung, bis zu welchem Grade von Genauigkeit es als zutreffend gelten kann. Die biologischen Gesetze, wie etwa diejenigen der Entwicklungslehre oder der Vererbungslehre, sind qualitativen Charakters oder doch nur bedingt einer quantitativen Behandlung fähig. Trotz ihrer großen Bedeutung können wir sie kaum als Naturgesetze bezeichnen, sondern eher als Regeln, bei denen man auch angesichts von Ausnahmen ein Auge zudrückt.

Wie nun aber mit dem Wandel der Theorie die Form der Gesetze sich ändert, so muß auch selbstverständlich, wenn erfahrungsgemäß ein Versagen oder auch nur eine Ungenauigkeit eines Naturgesetzes in mehr oder weniger extremen Fällen durch Messungen festgestellt wird, die Theorie verändert werden, die zu jenem Gesetze führte. So hat denn in der Tat die genaue Prüfung von Naturgesetzen sehr häufig bedeutsame Wandlungen der Theorie zur Folge gehabt.

Diese Aufgabe fällt natürlich in erster Linie den physikalischen und chemischen Instituten zu; eine wichtige Ergänzung finden letztere in der

<sup>1)</sup> Vgl. *Boltzmann*, Populäre Schriften S. 95 (Gedächtnisrede auf *J. Stefan*).

physikalischen und chemischen Technik, weil hier die Naturgesetze, soweit sie bei den technischen Prozessen mitspielen, nicht nur in ganz anderen Dimensionen, sondern auch außerordentlich viel häufiger und vielseitiger angewandt werden als es im Laboratorium möglich ist. Die Elektrotechnik braucht z. B. das Ohmsche Gesetz für Gleichstrom und Wechselstrom in ganz anderem Maße, als es die wissenschaftliche Forschung vermag, selbst kleine Abweichungen würden sich in der Bilanz der großen Elektrizitätswerke unmittelbar fühlbar machen. Die Festigkeitslehre, die den Bauten aller Art die wissenschaftliche Unterlage liefert, ist überhaupt erst in der Praxis zu einer eingehenden Theorie ausgebaut worden; wiederholt lehrte der Einsturz einer großen Halle oder einer neuartigen Brückenkonstruktion, daß hier entweder die Forderungen der exakten Theorie nicht genügend berücksichtigt waren oder daß an letzterer noch eine weitere Verfeinerung angebracht werden mußte.

Wiederum in ganz anderen Dimensionen können einzelne Naturgesetze geprüft werden, indem man sie auf kosmische Phänomene anwendet; daß an verhältnismäßig winzigen Apparaten ursprünglich geprüfte Formeln mit größter Genauigkeit auch fast unfassbar große Gebilde beherrschen, rückt die gewaltige logische Kraft eines brauchbaren Naturgesetzes in ein besonders helles Licht. So bewährten sich in der Astronomie die Lehrsätze der Mechanik von *Galiläi* und *Newton* und das Attraktionsgesetz des letzteren Forschers mit größter Genauigkeit; die Größe der Lichtgeschwindigkeit ließ sich durch astronomische Messungen scharf ermitteln, wie auch ihre (weitgehende) Unabhängigkeit von der Wellenlänge der betreffenden Lichtart.

Die Sicherheit und das ungeheuer große Gültigkeitsbereich vieler Naturgesetze hat selbst außerhalb der exakten Naturwissenschaften stets lebhafteste Bewunderung erregt und neben ihren technischen Erfolgen wohl in erster Linie ihren großen Einfluß, z. B. auch im erkenntnistheoretischer Hinsicht, begründet. Als Beispiel der in der Tat kaum zu überschätzenden Bedeutung der Naturgesetze möchte ich einige Aussprüche zitieren:

So sagt *Helmholtz*<sup>2)</sup>: „Wer das Gesetz der Phänomene kennt, gewinnt dadurch nicht nur Kenntnis, er gewinnt auch die Macht, bei geeigneter Gelegenheit in den Lauf der Natur einzugreifen und sie nach seinem Willen und zu seinem Nutzen weiter arbeiten zu lassen. Er gewinnt die Einsicht in den zukünftigen Verlauf dieser selben Phänomene. Er gewinnt in Wahrheit Fähigkeiten, wie sie abergläubische Zeiten einst bei Propheten und Magiern suchten.“

Es sei ferner an die bekannten Worte von *Heinrich Hertz*<sup>3)</sup> erinnert: „Man kann *Maxwells* wunderbare elektromagnetische Lichttheorie nicht

studieren, ohne bisweilen die Empfindung zu haben, als wohne den mathematischen Formeln selbständiges Leben und eigener Verstand inne, als seien dieselben klüger als wir, klüger sogar als ihr Erfinder, als gäben sie uns mehr heraus, als seinerzeit in sie hineingelegt wurde.“ Diese Worte von *Hertz* lassen sich unverändert auf zahlreiche andere, wohl durchgearbeitete Theorien übertragen, wie ja auch manche Sätze der Geometrie, die, weil ebenfalls auf Erfahrungstatsachen begründet, sozusagen als die Vorboten der Naturgesetze in der Kulturentwicklung gelten können, vielfach ein weiteres Anwendungsgebiet besitzen, als aus dem ursprünglichen Beweise hervorging.

Wie schon wiederholt betont, gibt es kein Naturgesetz, das man lediglich als Resultat eines Denkprozesses bezeichnen dürfte, vielmehr entstand jedes einzelne im letzten Ende aus einer glücklichen Kombination von Erfahrungstatsachen. Bekanntlich stand die sogenannte „Identitätsphilosophie“ auf einem anderen Standpunkte; von der Hypothese ausgehend, daß die gesamte Umwelt das Resultat der Denkkraft eines schöpferischen Geistes sei, sollte der menschliche Geist, als ihm gleichwertig oder gar als ein Stück von ihm, tatsächlich befähigt sein, das Wesen der Umgebung nachzudenken und aus sich heraus bis zu ihrem tiefsten Verständnis zu gelangen. Die aprioristische Vorhersage von Naturgesetzen erschien hiernach für den menschlichen Geist keine Unmöglichkeit zu sein.

Jene Hypothese, und damit die Identitätsphilosophie überhaupt, gilt heute, nachdem sogar die Lehrsätze der Geometrie ihres aprioristischen Charakters entkleidet worden sind, als ein längst überwundener Standpunkt, zweifellos sehr zum Vorteil einer gedeihlichen Entwicklung der Naturwissenschaft, die besonders in Deutschland unter der Vorherrschaft der Naturphilosophie tatsächlich längere Zeit gelitten hatte; nachdem auch bei uns schon längst die heilsame Rückkehr zu *Kant* sich vollzogen hat und auch kleine Ansätze zu jener Naturphilosophie, die sich bei *Kant* vielleicht noch vorfinden, überwunden worden sind, ist es gewiß ganz ungefährlich, der Frage nachzugehen, ob nicht, wie fast stets bei derartigen starken geistigen Strömungen, auch in der Identitätsphilosophie ein gesunder Kern steckt. Und da richtet sich unser Blick auf eine merkwürdige Erscheinung, die wir in der von der strengsten Empirie ausgehenden Naturforschung nirgends verkennen können, daß nämlich die *einfachere* Anschauung unter verschiedenen Auffassungsmöglichkeiten stets zielbewußt bevorzugt wird; und dies nicht etwa bloß aus Bequemlichkeitsrücksichten, die übrigens angesichts der bisweilen äußerst komplizierten Rechnungen, zu denen die Durchführung einer Hypothese häufig zwingt, nicht ganz nebensächlich sind, sondern in der Überzeugung, daß von vornherein die einfachere Deutung auch mehr innere Wahrscheinlichkeit

<sup>2)</sup> Vorträge und Reden II, S. 339.

<sup>3)</sup> Ges. Werke I, S. 344.



besitze. Und der Erfolg hat dies in vielen Fällen aufs schlagendste bestätigt. In einer sehr bemerkenswerten Zusammenfassung der Relativitätstheorie stellt W. Wien<sup>4)</sup> für die künftige Entwicklung der sogenannten allgemeinen Relativitätstheorie geradezu die Forderung auf, daß die Theorie einfach sein müsse; da die Forderung ihrer Richtigkeit oder, wie wir mit Boltzmann lieber sagen wollen, ihrer Zweckmäßigkeit selbstverständlich immer gilt, so liegt darin implicite die Annahme, daß eine brauchbare, d. h. der Erfahrung sich möglichst gut anschmiegende Theorie auch dem menschlichen Geiste möglichst konform gebaut sei.

Für die Einfachheit wirklich brauchbarer Naturgesetze hat gerade die neueste Entwicklung der Mechanik ein überaus schönes Beispiel gebracht. Schon früh hatte man erkannt, daß es in der Mechanik immer nur auf relative Bewegung ankommt, und seit Galiläi brachte man dies in der nach ihm benannten „Galiläitransformation“ zum Ausdruck. Bei der Anwendung der betreffenden Gleichungen auf elektromagnetische Vorgänge stieß man jedoch auf Schwierigkeiten, und H. A. Lorentz führte daher ein anderes System von Gleichungen ein, die sogenannte „Lorentztransformation“, aus der dann Einstein weitgehende Schlüsse zog, die, wie so häufig, über die ursprüngliche Absicht des Entdeckers jener neuen, fundamentalen Gleichungen noch erheblich hinausgingen. Wer auch nur über ein elementares mathematisches Wissen verfügt, sollte sich den großen Genuß des Studiums der Lorentztransformation nicht versagen; wer zum ersten Male sich in ihre Bedeutung hineingearbeitet hat, dem ist zu Mute, als ob er einen Rebus geraten hätte, dessen Lösung die Gewähr in sich trägt, daß man richtig geraten hat, und diese Empfindung tritt ein, auch ohne daß man die experimentelle Begründung berücksichtigt, die der Lorentztransformation gegenüber der alten Galiläitransformation ein entschiedenes Übergewicht verschafft; so überaus an sich einleuchtend erscheinen die neuen Gleichungen.

Das ist nun gewiß höchst merkwürdig. Natürlich liegt es am nächsten zu sagen, die Forschung habe durch lange Übung den menschlichen Geist bereits durch eine Reihe von Generationen hindurch derart geschult, daß ihm das Richtige zugleich auch das Einfachste zu sein scheint. Wie dem auch sei, es verlohnte sich der Mühe, der Vermutung nachzuspüren, ob wirklich Beziehungen existieren zwischen der Logik des Geschehens einerseits und der Logik des menschlichen Geistes andererseits.

Gehen wir nunmehr zu der Frage über, wie weit die Leistungsfähigkeit unserer Naturgesetze geht. Häufig stellt man sich das Naturgesetz als etwas Starres und Unabänderliches vor; aber

diese Vorstellung müssen wir korrigieren, sobald wir in eine gründlichere, historische Betrachtung eintreten. Und dies ist der einzig gangbare Weg; wie jedes einzelne Naturgesetz Resultat der Erfahrung ist, so kann ein allgemeines Urteil darüber natürlich auch nur aus der Erfahrung, in diesem Falle also nur aus einer historischen Betrachtung, geschöpft werden. Das Ergebnis einer solchen haben wir oben schon vorweggenommen, als wir als typisches Beispiel die Theorie der Wärmeleitung betrachteten; Fourier gab längst eine wundervolle Theorie dieses Phänomens, aber eine nicht ganz vollständige. Dasselbe beobachten wir nun überall, so daß sich uns die Überzeugung aufdrängt, wir besitzen überhaupt kein Naturgesetz in endgültiger Fassung.

Als weitere Belege hierfür wollen wir noch zwei der berühmtesten Beispiele kurz streifen. In Gestalt der Galiläi-Newtonschen Mechanik und des Newtonschen Attraktionsgesetzes glaubte man bis vor kurzem, ein in sich abgeschlossenes System von Gesetzen zu besitzen, durch das die Bahn der Himmelskörper mit beliebiger Präzision berechnet werden kann. Diesen Glauben hat nun die oben erwähnte Lorentztransformation und die sich daran anschließende Einsteinsche Relativitätstheorie in der Tat zerstört. Freilich sind die Abänderungen, die an der ursprünglichen Theorie anzubringen sind, so klein, daß sie beim gegenwärtigen Stande der Forschung außer im Falle der Berechnung der sonnennahen und stark elliptischen Merkbahn vernachlässigt werden können. Aber im Prinzip muß natürlich jede von den Astronomen bisher ausgeführte Rechnung geändert werden. Und gerade auf diese prinzipielle Seite der Frage, nicht auf den numerischen Betrag der Korrektur, kommt es uns hier an. Also, um kein Mißverständnis aufkommen zu lassen, die Werke von Galiläi und Newton sind herrlich wie am ersten Tag, aber die endgültigen Gesetze der Bewegung der Himmelskörper haben sie uns nicht gebracht. Daß etwa die Relativitätstheorie diesen Abschluß bringt, wird niemand behaupten wollen; schon die absolute Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, mit der sie operiert, wird sich vielleicht bald als eine Annäherung herausstellen.

Ein zweites, nicht minder berühmtes Beispiel liefert uns die Theorie der elektrischen Fernwirkungen. Auch den Formeln von Coulomb und Ampère wohnte ein unzerstörbarer Wahrheitskern inne, aber erst Maxwell gab die großartige Zusammenfassung und Erweiterung jener Gesetze. Die Quantentheorien der Strahlung von Planck und Bohr sind jedoch mit Maxwells Theorie, angewandt auf die Bewegung des einzelnen Elektrons, unvereinbar, so daß niemand mehr zweifelt, daß auch die Maxwellsche Theorie der elektrischen Fernkräfte in ihrer Anwendung an Grenzen gestoßen ist.

Nun könnte man denken, daß die erwähnten Naturgesetze und andere, denen es ähnlich gegangen ist, immerhin in gewissen Gebieten ab-

<sup>4)</sup> Vortrag über Relativitätstheorie (Leipzig 1921 bei A. Barth).

solut genau gelten und daß die Sache sehr einfach in Ordnung gebracht werden könnte, indem man die Grenzen angibt, innerhalb deren sie gültig bleiben. Für alle praktischen Anwendungen trifft dies auch vollkommen zu; und wir durften daher auch den Entdeckungen von *Galiläi*, *Newton*, *Fourier*, *Ampère*, *Clausius*, *Maxwell* usw. Ewigkeitswerte zuschreiben. Streng logisch betrachtet aber liegt die Angelegenheit weit katastrophaler. Wenn ein allgemeines Naturgesetz außerhalb gewisser Grenzen merklich ungenau wird, so lastet der Fluch dieser Ungenauigkeit auf jeder Anwendung, selbst innerhalb jener Grenzen, nur daß hier die Fehler auf zurzeit unmeßbar kleine Beträge sinken.

Setzt man die Existenz vollkommen strenger Naturgesetze als gesichert voraus, was man bisher wohl allgemein tat, so ergibt sich als notwendige Folgerung das sogenannte Kausalitätsprinzip. Nehmen wir zur Veranschaulichung desselben ein in sich abgeschlossenes, endliches System an, dessen Zustand uns in allen Einzelheiten bekannt sei, und setzen wir die Naturgesetze, soweit sie für die darin sich abspielenden Vorgänge erforderlich sind, ebenfalls als bekannt voraus, so müßte ein Geist, der alle rechnerischen Schwierigkeiten zu überwinden imstande ist, die Zukunft des Systems bis in alle Einzelheiten voraussagen imstande sein, und er könnte natürlich auch die Vorgeschichte des Systems rückwärts ableiten. Ist es ferner erlaubt, auch die ganze Welt als ein derartiges, abgeschlossenes, endliches System zu betrachten, so würde man dem betreffenden Geiste Allwissenheit für Vergangenheit und Zukunft zuschreiben müssen.

Dieser Gedanke wurde bekanntlich zuerst in voller Klarheit vom dem berühmten Astronomen *Laplace* entwickelt, und man spricht daher auch kurz von dem „*Laplaceschen Geiste*“ und von der „*Laplaceschen Weltformel*“.

Um die Konsequenz dieser Möglichkeit auf die Spitze zu treiben, schloß man, natürlich nicht ohne Ironie, daß, bei genauer Kenntnis von *Goethes* Konstitution und aller einwirkenden äußeren Umstände, jener Geist mit Hilfe der betreffenden Naturgesetze den *Faust* wörtlich in die Feder diktieren könnte, und natürlich nicht nur den gedruckten *Faust*, sondern auch alle früheren Entwürfe. Von naturwissenschaftlicher Seite hat niemand mit so anmutiger Beredsamkeit die praktische Leistungsfähigkeit der *Laplaceschen Weltformel* geschildert, wie unser großer Berliner Physiologe *du Bois-Reymond*<sup>5)</sup>: „In der Tat, wie der Astronom nur der Zeit in den Mondgleichungen einen gewissen negativen Wert zu erteilen braucht, um zu ermitteln, ob, als *Perikles* nach *Epidaurus* sich einschiffte, die Sonne für den *Piräus* verfinstert ward, so könnte der von *Laplace* gedachte Geist durch geeignete Diskussion seiner Weltformel uns sagen, wer die eiserne Maske war oder wie der „*President*“ zu-

grunde ging. Wie der Astronom den Tag vorhersagt, an dem nach Jahren ein Komet aus den Tiefen des Weltraumes am Himmelsgewölbe wieder auftaucht, so läse jener Geist in seinen Gleichungen den Tag, da das Griechische Kreuz von der *Sophienmoschee* blitzen oder da England seine letzte Steinkohle verbrennen wird. Setzte er in der Weltformel  $t = -\infty$ , so enthüllte sich ihm der rätselhafte Urzustand der Dinge.“ — Übrigens lehnte *du Bois-Reymond* die Existenz der Weltformel seinerseits als unmöglich ab, indem er, allerdings wohl mehr aus gefühlsmäßigen Gründen, zu seinem berühmten „*Ignorabimus*“ gelangte. — Daß die Willensfreiheit, wie sie jedes menschliche Wesen klar zu empfinden glaubt, mit einer exakten Weltformel unvereinbar ist, brauchen wir wohl kaum noch zu betonen.

Kann nun aber Philosophie und Naturforschung wirklich mit Sicherheit behaupten, daß z. B. jede menschliche Handlung das eindeutige Ergebnis des gerade herrschenden Zustandes sei? Wenn absolut strenge Naturgesetze alles Geschehen beherrschen, wird man sich dieser Schlußfolgerung in der Tat kaum entziehen können. Aber konstatieren wir zunächst, daß, wie wir gesehen haben, es der menschlichen Forschung bisher jedenfalls nicht gelungen ist, auch nur ein einziges strenges Naturgesetz ausfindig zu machen, und daß wir daher zweifellos den Boden der Erfahrung verlassen, wenn wir die Existenz vollkommen strenger Naturgesetze, wie es z. B. *Laplace* tat, ohne weiteres als gegeben voraussetzen. Die Möglichkeit dürfen wir also nicht in Abrede stellen, daß auch das Prinzip der Kausalität das Schicksal unserer Naturgesetze teilt, auf denen es beruht, nämlich ebenfalls nicht mehr als eine im allgemeinen sehr gute Annäherung zu sein.

Versuchen wir, um uns der Entscheidung dieser Kardinalfrage zu nähern, den Charakter unserer Naturgesetze klarer zu veranschaulichen. Unter allen Gesetzen nehmen diejenigen der sogenannten Thermodynamik eine besondere Stellung ein, weil sie nicht, wie die anderen, spezieller Natur, sondern auf jeden denkbaren Vorgang anwendbar sind. Wie *Boltzmann* zeigte, läßt sich der sogenannte zweite Hauptsatz der Wärmetheorie darauf zurückführen, daß immer der wahrscheinlichere Zustand sich von selbst einstellt; die Moleküle zweier verschiedener Gase z. B. vermischen sich, weil die vollständige Durchmischung dem Zustande größter Wahrscheinlichkeit entspricht. An sich wäre es durchaus denkbar, daß zwei gemischte Gase sich auch zeitweilig entmischen, indem die eine Art von Molekülen in der einen, die andere Art von Molekülen in der anderen Hälfte des Gefäßes sich ansammelt. Träte dieser höchst unwahrscheinliche Fall einmal ein, so wäre der zweite Hauptsatz verletzt, aber man kann rechnerisch abschätzen, daß eine solche spontane Trennung zweier Gase noch viel unwahrscheinlicher ist, als daß ein Mensch sein

<sup>5)</sup> Reden I, S. 443 (1871).



ganzes Leben lang im Würfelspiel immer nur Sechsen wirft.

So tritt also eines unserer bedeutungsvollsten Naturgesetze durchaus nicht mit der Forderung auf, mit absoluter Notwendigkeit erfüllt zu sein, sondern in dem viel bescheideneren Gewande einer, allerdings ganz ungeheuer großen, Wahrscheinlichkeit dafür, daß es im speziellen Falle auch wirklich zutrifft.

So sagte denn auch 1913 Prof. v. Smoluchowski<sup>6)</sup> auf dem Göttinger Wolfskehlkongreß: „Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik hat seine Stellung als unerschütterliches Dogma, als eines der Grundprivilegien der Physik ein für allemal eingebüßt. Dabei ist seine enorme, praktische Bedeutung allerdings durchaus nicht geschmälert, aber theoretisch ist er zu einer nur sehr angenähert gültigen Regel herabgesunken.“

Verschiedene Gründe lassen uns nun, wie mir scheint, vermuten, daß der zweite Hauptsatz nicht etwa eine Ausnahmestellung einnimmt, sondern daß vielmehr alle unsere Naturgesetze von gleichem Charakter sind.

Würden dadurch letztere degradiert oder gar völlig entwertet werden? Ganz gewiß nicht. Ebenso wenig, wie, um noch einmal das gleiche triviale, aber zutreffende Beispiel zu benutzen, das Würfelspiel verschwunden ist, weil der Fall eintreten könnte, daß eine Spielergesellschaft den ganzen Abend hindurch nur Sechsen wirft, wodurch das Spiel aufhören würde, ein Spiel zu sein, ebenso wenig hat die erwähnte Auffassung des zweiten Hauptsatzes seine ungeheure Bedeutung auch nur im geringsten beeinträchtigt; der logischen Überbeanspruchung der Naturgesetze würde allerdings ein Ende bereitet werden, wenn die Vermutung sich bewahrheiten sollte, daß alle Naturgesetze nie ein Ereignis mit absoluter Sicherheit, sondern immer nur mit sehr großer Wahrscheinlichkeit prophezeien. Die Gründe für diese Vermutung möchte ich zum Schluß noch ganz kurz erläutern.

Ihnen allen ist bekannt, wie außerordentlich ergiebig für die Entwicklung unserer Naturerkenntnis das Studium der radioaktiven Erscheinungen geworden ist; ihre Gesetze sind als weitgehend erforscht zu bezeichnen. Betrachten wir etwa 1 g Radium, so wissen wir, daß nach einer bestimmten Zeit, in diesem Falle rund 2000 Jahre, die Hälfte des Präparats zerfallen ist, nach weiteren 2000 Jahren wiederum die Hälfte des Restes usf. Dies bedeutet, daß, ähnlich wie bei vielen chemischen Reaktionen, während einer gegebenen Zeit immer ein gleicher Bruchteil sich umsetzt.

Nun aber wollen wir uns weiter fragen, wie ist es zu erklären, daß von einer Anzahl Radiumatomen das eine schon in der nächsten Sekunde, ein anderes erst nach einem Jahrtausend und ein drittes erst nach Millionen Jahren sich spaltet?

<sup>6)</sup> Göttinger Vorträge, S. 90<sup>7)</sup> (1914 bei Teubner in Leipzig).

Bei den chemischen Prozessen erklärte man sich den analogen Vorgang bisher so, daß durch die Energie der Wärmebewegung das eine Molekül in diesem Augenblicke, ein zweites aber erst in späterer Zeit, wenn gerade wiederum ein anderes Molekül mit hoher lebendiger Kraft daraufstößt, zertrümmert wird. Diese Analogie läßt uns bei der Radioaktivität aber völlig im Stich, weil erfahrungsgemäß durch die Intensität der Wärmebewegung in keiner Weise die Geschwindigkeit der radioaktiven Umwandlung beeinflusst wird.

Überlegungen, die ursprünglich von ganz anderen Gesichtspunkten ausgingen, haben nun aber zu der Auffassung geführt, daß im Lichtäther in der Form der sogenannten Nullpunktsenergie ungeheure Energiebeträge aufgespeichert sind<sup>7)</sup>. Auf ganz verschiedenen Wegen sind von verschiedenen Autoren als die untere Grenze dieser Energiebeträge Größen ermittelt worden, die im Vergleiche mit uns sonst bekannten Energieänderungen geradezu ungeheuerlich groß sind. Im Einklang mit früheren Erwägungen hat dann auch ganz neuerdings Prof. Wiechert in Göttingen die Vermutung geäußert, daß die Schwankungen der Nullpunktsenergie es seien, die den explosiven Zerfall des Atoms eines radioaktiven Elementes auslösten. Von anderen Seiten ist wiederum auf Grund ganz anderer Erwägungen vermutet worden, daß auch bei manchen chemischen Reaktionen die Schwankungen der Wärmebewegungen nicht ausreichen, um den chemischen Umsatz einzuleiten, sondern daß auch hier die Schwankungen der Nullpunktsenergie mitwirkten. Schließlich scheint es, als ob auch manche kosmischen Erscheinungen ohne Benutzung einer solchen Nullpunktsenergie nicht verständlich sein würden. So handeln wir also kaum unzweckmäßig, wenn auch wir diese Auffassung als „Arbeitshypothese“ zuhelfe ziehen.

Nun wollen wir den physikalisch denkbar einfachsten Fall betrachten, nämlich den Vergleich zweier gleichartiger Gasmassen. Und zwar soll in den betrachteten beiden gleich großen Gasbehältern zu einer bestimmten Anfangszeit die Gleichartigkeit so weit gehen, daß jedes einzelne Molekül des einen Behälters in dem anderen ein Gegenstück findet, welches an der gleichen Stelle sich befindet und in dem betrachteten Zeitmoment genau die gleichen Geschwindigkeitskomponenten besitzt. Das Prinzip der Kausalität in der bisherigen Fassung würde verlangen, daß auch nach beliebig langer Zeit die Gleichartigkeit im

<sup>7)</sup> Vgl. darüber Nernst, Verhandl. d. D. physik. Ges. 18, S. 83 (1916); E. Wiechert, „Der Äther im Weltbild der Physik“ (Berlin 1921 bei Weidmann); M. Polanyi, Zeitschr. f. Physik 3, S. 3 (1920). — Zweifellos sind die bisherigen Auffassungen der Nullpunktsenergie des Lichtäthers noch ganz provisorischer Natur; daß aber ähnliche Betrachtungen sich als notwendig herausstellen werden, erscheint bereits heute als überaus wahrscheinlich. Für die vorliegende kritische Studie genügt es natürlich vollkommen, wenn derartige Auffassungen als möglich gelten können, und dies wird niemand bestreiten wollen.



obigen Sinne erfüllt bleibt, trotzdem jedes einzelne Molekül in seiner Wärmebewegung nicht nur seinen ursprünglichen Platz längst verlassen, sondern auch seinen ursprünglichen Bewegungszustand vollkommen geändert hat.

Ganz anders müssen wir den Ablauf des Geschehens in den beiden Gasbehältern auffassen, wenn wir die erwähnte Nullpunktsenergie berücksichtigen. Die Nullpunktsenergie des Lichtäthers muß natürlich, wenn auch vielleicht nur ab und an, die Bahn eines Moleküls durch ihre Schwankungen beeinflussen. Und wenn auch nur die Bahn eines einzelnen Moleküls um ein Weniges in ihrer Richtung sich ändert, so wird dies zur Folge haben, daß nach kurzer Zeit die Anordnung aller Moleküle eine ganz andere sein wird, als ohne diese Beeinflussung. Die beiden Gasmassen werden also trotz gleicher Anfangsbedingungen nach einiger Zeit total verschieden werden; natürlich nicht bezüglich der Größen, die wir für gewöhnlich messen, wie z. B. des Gasdrucks, der auf einer Mittelwertbildung beruht, wohl aber bezüglich der Bewegung suspendierter Staubteilchen, der sogenannten Brownschen Bewegung, die wir beobachten können und die uns ein, wenn auch stark vergrößertes, Abbild der Wärmebewegung liefert.

Nun kann man natürlich sagen, daß zur völligen Gleichartigkeit der beiden Gasmassen auch eine Gleichartigkeit der durch die Nullpunktsenergie des Lichtäthers hervorgerufenen Störungen gehört, und man kann auf diesem Wege das Prinzip der Kausalität<sup>9)</sup> in der ursprünglichen Fassung retten. Aber wie hypothetisch wäre diese Rettung? Einen Abschluß gegen die Nullpunktsenergie des Lichtäthers gibt es nicht, weil alle unsere materiellen Wände den aus ihr stammenden Störungen gegenüber sich wie weitmächtige Siebe verhalten müssen. Das Gesetz der Kausalität verlangt, daß bei gleichartigen Anfangsbedingungen zwei verschiedene Systeme einen gleichen Verlauf ihrer Änderungen zeigen; nun schließen wir aber, daß sich zwei derartige Systeme überhaupt nicht realisieren lassen.

Ein anderer Ausweg bestände darin, daß wir den gesamten Lichtäther, d. h. den gesamten Weltenraum, als ein in sich abgeschlossenes beliebig großes System betrachten. Aber dann kommen wir zu einem unendlich ausgedehnten

System, dem gegenüber unsere Denkgesetze versagen.

So lehrt denn auch diese an der Hand einer spezielleren Hypothese durchgeführte Betrachtung, daß unsere Naturgesetze zwar befriedigend genau uns statistische Mittelwerte liefern, daß aber eine völlig genaue Beschreibung der Einzelvorgänge uns verschlossen ist.

Die gegenwärtige Sachlage läßt sich vielleicht durch folgendes Beispiel am anschaulichsten erläutern. Es ist durchaus denkbar, daß eine Lebensversicherungsgesellschaft auf Grund sorgfältiger Statistik und unter wissenschaftlicher Berücksichtigung der gerade herrschenden hygienischen Verhältnisse mit großer Genauigkeit die Zahl der Todesfälle pro Jahr in ihrem Bezirke anzugeben vermag; wendet sich aber das einzelne Individuum mit der Frage an die Gesellschaft, wie lange es noch zu leben hätte, so kann es keine Antwort erhalten.

Daß alle unsere jetzigen Naturgesetze statistischen Charakters sind und den letzten Einzelvorgängen gegenüber versagen, ist eine Konsequenz unserer „Arbeitshypothese“; über letztere kann man natürlich verschiedener Meinung sein, so sehr ich auch von der Berechtigung derselben oder einer ihr im Prinzip ähnlichen überzeugt bin; widerlegen läßt sie sich zurzeit gewiß nicht. Ob sich der Zustand der charakterisierten Unsicherheit je ändern wird, bleibt meiner Meinung nach eine offene Frage; der naturwissenschaftliche Dogmatiker wird sie bejahen<sup>9)</sup>.

Das Ergebnis unserer Betrachtungen fassen wir folgendermaßen zusammen:

Erfahrungsgemäß steht fest, daß unsere Naturgesetze provisorischen Charakters sind, den sie höchstwahrscheinlich nie verlieren werden, bisher wenigstens ist noch jedes Naturgesetz an Grenzen gelangt, außerhalb deren es uns merklich im Stiche läßt, innerhalb deren es zwar praktisch unmerklich, im Prinzip aber ebenso unrichtig wird. Es ist ferner wahrscheinlich, daß alle unsere Naturgesetze von dem Charakter des zweiten Wärmesatzes, d. h. wesentlich statistischen Charakters sind. Also auch innerhalb der

<sup>9)</sup> Zur physikalischen Erläuterung ist folgende Versuchsanordnung geeignet. Ein Radiumpräparat sende Heliumatome auf eine Diamantplatte; jeder einzelne Anprall ist beobachtbar. Das Gesetz der auf einer gegebenen Diamantfläche während eines längeren Zeitraums auftretenden Szintillationen ist als Mittelwertsgesetz genau bekannt; über den Zeitabstand zwischen zwei einzelnen Szintillationen aber und über den Ort des Auftretens derselben wissen wir gar nichts vorauszusagen. Ob über diese Einzelvorgänge bei dem gegenwärtigen Stande der theoretisch-physikalischen Methodik Klarheit zu gewinnen sein wird, das ist die offene Frage. Wir müssen m. E. mit der Möglichkeit rechnen, daß für das Problem der quantitativen Berechnung dieser Einzelvorgänge unser Denkvermögen versagt. Damit ist das Ergebnis der vorliegenden kritischen Studie auf eine physikalisch vollkommen präzise Fragestellung zurückgeführt. Wie die Antwort einst ausfallen wird, darüber werden verschiedene Forscher gegenwärtig natürlich ganz verschieden denken.

<sup>9)</sup> Zum Prinzip der Kausalität vgl. von neueren Untersuchungen M. Schlick, Naturwissenschaften 8, S. 461 (1920); ferner besonders W. Schottky ibid. 9, S. 492 und 506 (1921). Der letztere Autor erklärt es vom Standpunkte der Quantentheorie für möglich, daß „die Ansichten über den Kausalzusammenhang der Naturereignisse vollständig umgestaltet werden müßten“. — Am weitesten geht wohl, worauf ich nachträglich hingewiesen wurde, H. Weyl mit dem Ausspruch: „Es muß einmal klipp und klar gesagt werden, daß die Physik bei ihrem heutigen Stande den Glauben an eine auf streng exakten Gesetzen beruhende geschlossene Kausalität der materiellen Natur gar nicht mehr zu stützen vermag.“ (Allg. Relativitätstheorie 1921, S. 283.)



oben angegebenen Grenzen könnte hiernach ein Naturgesetz gelegentlich einmal weitgehend versagen, nur ist das Eintreten dieses Falles so überaus unwahrscheinlich, daß bei den praktischen Anwendungen (im allgemeinen wenigstens) nicht damit zu rechnen ist.

Die logische Operation mit absolut genauen Naturgesetzen als einer Abstraktion kann andererseits niemandem verwehrt werden, und daher darf man mit dem Prinzip der Kausalität in seiner strengsten Form ebenfalls logisch operieren, wenn man sich nur bewußt bleibt, daß man damit den Boden der Erfahrung verläßt und sich in das Gebiet rein spekulativen Denkens begibt.

Man hat den exakten Naturwissenschaften wohl den Vorwurf gemacht, daß sie die philosophische Forschung tyrannisiert hätten. Vielleicht ist zuzugeben, daß die bisher übliche Fassung des Kausalitätsprinzips als eines absolut strengen Naturgesetzes wie spanische Stiefel den Geist einschnürte, und es ist daher wohl gegenwärtig Pflicht der Naturforschung, diese Fesseln soweit zu lockern, daß der freie Schritt des philosophischen Denkens nicht mehr behindert wird.

*Nachträglicher Zusatz.* Der vorstehende Aufsatz ist, unter Weglassung der auf den speziellen Anlaß bezugnehmenden Einleitungs- und Schlußworte, ein wörtlicher Abdruck meiner beim Antritt des Rektorats in der Aula der Berliner Universität am 15. Oktober 1921 gehaltenen Festrede. — Nachträglich möchte ich noch folgenden Punkt schärfer betonen, als oben geschehen. Offenbar kommt es weniger darauf an, ob man das Prinzip der Kausalität als ein streng gültiges ansieht oder nicht, als vielmehr darauf, ob man die Naturprozesse als begrifflich auffaßt oder ob man den menschlichen Geist für unfähig hält, jene bis in die letzten Einzelheiten zu durchschauen. Z. B. halten die Lehren auch der meisten Religionen wohl daran fest, daß alle Ereignisse nach dem Willen einer höchsten Vernunft sich abspielen, also mit vollkommener Logik, was sich mit der Forderung des Kausalitätsprinzips deckt. Bis vor kurzem stand die Physik wohl allgemein auf dem Standpunkte, daß alle Ereignisse als logisch sich abspielend auch vom menschlichen Geiste — im Prinzip wenigstens — erkannt werden könnten, was die Lehren aller Religionen stets bestritten haben. Wenn also wirklich die gegenwärtig mehrfach, auch von uns oben besprochene Auffassung, wonach nur statistische Mittelwerte des Geschehens unserer naturwissenschaftlichen Erkenntnis zugänglich sind, sich als zu Recht bestehend erweisen sollte, so würde in der Tat ein gewiß auffallender, bisher kaum vorausgesehener Parallelismus zwischen theologischer und physikalischer Auffassung zu konstatieren sein.

## Über die Polarfronttheorie nach Bjerknes und die neueren Anschauungen von den atmosphärischen Vorgängen.

Von Erich Kuhlbrodt, Hamburg.

Eine der Hauptfragen in der Meteorologie ist die nach dem Wesen der Luftdruckdepressionen, welche in unseren Breiten die Veränderlichkeit des Wetters bedingen, die Frage nach dem Aufbau, Entstehen und Vergehen der Zyklonen. In

der letzten Zeit ist diese Kernfrage wieder lebhaft in Angriff genommen worden; sie führte zu einer Erörterung der Vorstellung von den atmosphärischen Vorgängen überhaupt. Der Anstoß hierzu ging von V. Bjerknes aus, dem früheren Direktor des Geophysikalischen Instituts in Leipzig, jetzt in gleicher Eigenschaft in Bergen, sowie von seinem Sohne J. Bjerknes und weiteren Mitarbeitern.

Bjerknes' Bestreben ging seit jeher dahin, in der synoptischen Meteorologie sämtliche meteorologischen Elemente vollständig in Betracht zu ziehen, weil nur so ein Fortschritt auf dem Gebiete der wissenschaftlichen Wettervorhersage möglich ist. Bisher wurde nur die Verteilung des Luftdrucks und der Lufttemperatur im Wetterdienst dargestellt, nicht aber der Wind. Bjerknes arbeitete deshalb zunächst Methoden aus zur Darstellung des Windfeldes (Stromlinien<sup>1</sup>). Bei der ausführlichen synoptischen Bearbeitung bestimmter Wetterlagen, für welche besonders zahlreiche Beobachtungen vorlagen, wurde diese Darstellung angewandt. Von vornherein zeigten nun die gezeichneten Stromlinienkarten Unstetigkeitslinien, längs welchen ein Einströmen bzw. Ausströmen stattfand. Die Verfolgung dieser Konvergenz- und Divergenzlinien — d. h. den Linien, zu denen hin die strömende Luft konvergiert und von denen aus sie divergiert — zeigte, daß deren Fortbewegung Gesetzmäßigkeiten unterworfen ist (1)<sup>2</sup>. Bei der weiteren Nachprüfung ergab sich folgendes für die weitere Entwicklung der Anschauungen grundlegende Erfahrungsgesetz (2): Zu jeder Zyklone, welche nicht völlig örtlich feststeht, gehören zwei charakteristische Konvergenzlinien. Beide kommen von der rechten Seite der Zyklonenbahn; die eine fast senkrecht zur Zyklonenbahn, die andere sich um so dichter an die Zyklonenbahn anschmiegend, je mehr sie sich dem Zentrum der Zyklone nähert, woselbst beide Linien zusammenlaufen. Die erstere ist die „Böenlinie“, identisch mit der bereits früher bekannten, die letztere wurde „Kurslinie“ genannt, weil sie durch ihre Tangente im Zyklonenmittelpunkt die augenblickliche Fortschreitungsrichtung der Depression anzeigt.

Diese Tatsache, daß also jede Zyklone zwei ausgezeichnete Einströmungslinien besitzt, führte zu einer neuen Vorstellung vom Aufbau bewegter Zyklonen (3), allgemein vom Zustand der Atmosphäre, wenn Niederschlag fällt (4, 7), und weiterhin zur Vorstellung einer „Polarfront“ (5) und deren Rolle bei den Witterungsvorgängen der gemäßigten Breiten sowie in der allgemeinen atmosphärischen Zirkulation überhaupt (6).

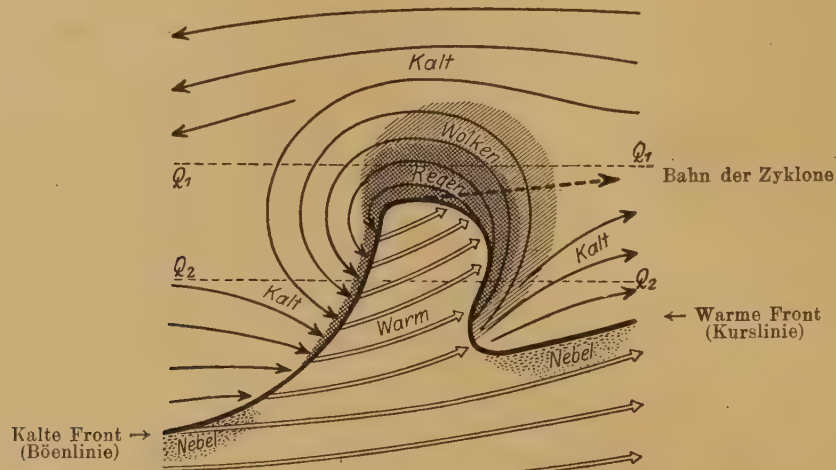
Im folgenden seien diese Anschauungen im Zusammenhang dargestellt. Fig. 1 (oben) zeigt

<sup>1</sup> Eine Stromlinie ist dadurch charakterisiert, daß sie in jedem ihrer Punkte tangential zu der dort herrschenden Stromrichtung verläuft.

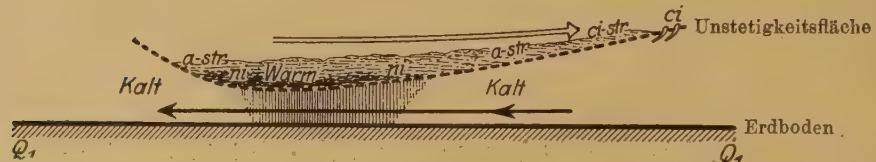
<sup>2</sup> Die eingeklammerten Zahlen weisen auf das Literaturverzeichnis am Schlusse dieses Aufsatzes hin.

den Grundriß einer bewegten Zyklone. Die Darstellung ist schematisch und idealisiert; in Wirklichkeit werden die Verhältnisse stets mehr oder weniger Abweichung zeigen. Die beiden oben genannten Unstetigkeitslinien treten deutlich hervor. Die Stromlinien erleiden hier einen Knick, dessen Schärfe mit Entfernung vom Zentrum abnimmt, d. h. längs diesen Linien herrscht ein mehr oder weniger ausgesprochener Windsprung.

Nur in einem örtlich feststehenden Felde können die beiden Linien symmetrische, doppelseitige Konvergenz zeigen; da in unserm Falle das Feld der Fortschreibungsbewegung überlagert ist, so ist nur Windsprung möglich, der aber eben besagt, daß hier ein Einströmen stattfindet. Den eigentlichen Charakter einer Stromlinie (s. Fußnote auf S. 495) haben die beiden Konvergenzlinien hierdurch verloren. Sie sind nun aber



Grundriß einer bewegten Zyklone. Die starke Linie — im linken Teil kalte Front (Böenlinie), im rechten Teil warme Front (Kurslinie) — ist die Schnittlinie der schräg nach oben ansteigenden Diskontinuitätsfläche mit der Erdoberfläche. Die asymmetrische Form der Zyklone ist deutlich erkennbar.



Vertikalschnitt (in etwas verändertem Maßstabe) durch die Zyklone längs der im Grundriß angedeuteten Graden  $Q_1 Q_1$  nördlich des Zentrums.



Vertikalschnitt (in etwas verändertem Maßstabe) durch die Zyklone längs der im Grundriß angedeuteten Graden  $Q_2 Q_2$  südlich des Zentrums.

ci = cirrus  
ci-str = cirro-stratus  
a-str = alto-stratus  
a-cu = alto-cumulus  
ni = nimbus

Fig. 1. Aufbau einer fortschreitenden Zyklone nach Bjerknes.



nicht nur dynamische, sondern auch thermische Unstetigkeitslinien: sie schließen gegenüber dem sonst kalten Teil der Zyklone einen „warmen Sektor“ ab. Die Kurslinie ist die Front einer fortschreitenden warmen Luftmasse, die Böenlinie die Front einer fortschreitenden kalten Luftmasse. (Die warme Luft ist in den Figuren durch doppelte Stromlinien angedeutet.) Es hat sich gezeigt, daß die Kurslinie nur in unmittelbarer Nähe des Zyklonenmittelpunktes wirklich tangential zur Zyklonenbahn verläuft. Hier in diesem letzten kurzen Stück ist die Lage der Linie aber nicht mehr mit Sicherheit anzugeben, so daß die Kurslinie ihrer ursprünglich erhofften wichtigen Bedeutung, nämlich daß sie den Kurs der Zyklone anzugeben erlaubt, leider nicht gerecht wird. Die Bezeichnungen Kurs- und Böenlinie wurden daher in den jüngsten Veröffentlichungen fallengelassen und durch „*warme Front*“ und „*kalte Front*“ ersetzt, wodurch, wie sogleich erhellen wird, die eigentliche Bedeutung der beiden Linien charakterisiert wird.

Vor der warmen Front befindet sich eine weite Fläche mit Wolkenbedeckung sowie ein breites Niederschlagsband, *hinter* der kalten Front ein schmales Wolken- und Niederschlagsband. Fig. 1 unten zeigt in etwas verändertem Maßstabe schematisch zwei Vertikalschnitte durch die Zyklone längs den im Grundriß angedeuteten Querschnitten  $Q_1Q_1$  nördlich des Zentrums und  $Q_2Q_2$  südlich des Zentrums. Betrachten wir zuerst  $Q_2Q_2$ , so sehen wir, daß von der warmen Front aus unter sehr flachem Winkel gegen die Erdoberfläche eine Unstetigkeitsfläche (früher Kursfläche genannt) in die Höhe steigt. Sie trennt einen kalten Luftkeil unten von der warmen Luft darüber; sie bildet eine Gleitfläche, längs welcher die warme, also leichtere, Luft aus dem warmen Sektor hinaufweht über den Keil der unteren kalten, also schwereren Luftmasse. Während hier die warme Luft infolge ihrer eigenen Bewegung hinaufgleitet und den kalten Luftkeil beiseite fegt, ist es an der kalten Front umgekehrt. Hier erhebt sich eine Diskontinuitätsfläche aufwärts, welche einen kalten Luftkeil nach oben begrenzt, der auf Grund seiner eigenen Bewegung die warme Luft vor sich hertreibt. Während die Gleitfläche an der warmen Front unter einem sehr kleinen Winkel sacht ansteigt, kann die Trennungsfläche an der kalten Front (früher Böenfläche genannt) bei starker Ausprägung der Gegensätze eine in Gestalt eines sich vorwärts stürzenden „Böenkopfes“ steil aufgewölbte Form annehmen. An dieser Vorderfront wird die warme Luft, die nicht schnell genug ausweichen kann, gewaltsam in die Höhe gedrängt. An der warmen wie an der kalten Front hat die warme Luft also eine Bewegungskomponente vertikal nach oben, daher hier die Konvergenz der Stromlinien am Boden. Hieraus ergibt sich die Wolken- und Niederschlagsverteilung. Luft, welche aufsteigt und sich in-

folgedessen durch Ausdehnung abkühlt, kondensiert; dieser Vorgang ist ja die überwiegende Ursache der Wolken- und Niederschlagsbildung. Bekannt ist die Erzeugung des Geländeregens an der Luvseite von Gebirgen, an welcher die heranwehenden Luftmassen zum Aufsteigen gezwungen werden. Ganz ähnlich ist der Vorgang in der Zyklone beim Hinaufströmen der warmen feuchten Luft an dem bis in große Höhen hinaufragenden Kaltluftkeil. Die Gleitfläche wird zur unteren Grenze einer weit ausgedehnten, den größten Teil der Troposphäre (Wolkenzone) in kontinuierlichem Übergange schräg durchsetzenden Wolkenfläche, deren unterer Teil Niederschlag aussendet. Diese Wolken, die wir von unten sehen, sind gewissermaßen die Nebelmassen in den verschiedensten Höhen am Hange des durchsichtigen Kaltluftgebirges. Am Vorderrand der kalten Front muß durch das hier stattfindende meist heftige Aufsteigen der warmen Luft Wolkenbildung meist mit größerer vertikaler Erstreckung und ergiebigem Niederschlag auftreten.

An einem Orte, über welchen die Zyklone längs des Querschnitts  $Q_2Q_2$  von rechts nach links hinwegzieht, wird sich also etwa folgender mit der Erfahrung übereinstimmender Wettervorgang abspielen: Hohe Federwolken (cirrus) leiten die Zyklone ein. Sie verdichten sich zu hohen Schichtwolken (cirro-stratus), die ihrerseits allmählich übergehen zu dickeren mittleren Schichtwolken (alto-stratus). Die Wolken werden schließlich immer dunkler und bilden sich in immer geringerer Höhe (nimbus), bis Regen einsetzt, welcher allmählich immer heftiger wird. Dann hört der Regen ziemlich rasch auf, die Wolkendecke bricht auf. Der Wind, bis dahin etwa südöstlich, dreht rasch nach SW herum, und die Temperatur nimmt zu (Vorübergang der warmen Front). Darauf herrscht wechselndes, ziemlich heiteres und abgesehen von Schauern und Geländeregen, beides lokaler Natur, trockenes Wetter (warmer Sektor). Dann aber bilden sich in der Höhe neue Wolken, grobe Schäfchen (alto-cumulus), und ihnen folgt eine Front dicker Wolkenballen, walzenförmige Böenwolken, die zu Gewitterwolken auswachsen können (cumulo-nimbus) und aus welchen heftige Regenschauer niederprasseln. Mit letzteren dreht der Wind plötzlich nach rechts (W und NW), die Windstärke wächst rasch an mit kräftigen Böenstößen, und die Temperatur fällt (Vorüberzug der kalten Front). Verhältnismäßig schnell klart der Himmel aber wieder auf, und nur noch vereinzelt kommen aus zerrissenen Haufenwolken Regenschauer hernieder.

Wie das Wetter sich für einen Beobachter nördlich des Zyklonenzentrums abspielt, ist aus dem Vertikalschnitt  $Q_1Q_1$  in Fig. 1 leicht ersichtlich. Hier tritt nur einmal Regen ein, und zwar für die Zeit, während welcher der Zyklonenmittelpunkt am nächsten war. Dieser Regen hat den Charakter des Niederschlags an der warmen

Front. Es geht jedoch über den Beobachter keine warme oder kalte Front hinweg, die Temperatur bleibt bei östlichen oder nördlichen Winden niedrig. Die warme Luft fließt in der Höhe, von unten durch die Wolkenbildung zu erkennen. Die untere Wolkengrenze fällt wieder mit der Gleitfläche zusammen. Diese hat die Form einer flachen, vom Zyklonzentrum nach N zu ansteigenden Mulde, welche den warmen Luftstrom aufwärts führt über die darunterliegende kalte Luft.

Die Zyklone hat also einen *asymmetrischen* Bau<sup>3)</sup>. Sie wird durchsetzt von einer Diskontinuitätsfläche, welche den Erdboden längs der warmen und kalten Front schneidet und unter flachem Winkel aufwärts steigt. Die Fläche trennt verschiedene bewegte und temperierte Luftmassen voneinander. Mischung findet wegen der Langsamkeit des Mischungsvorganges nur sehr wenig statt; die Trennungsfläche kann daher lange Zeit (Tage oder Wochen) fortbestehen<sup>4)</sup>. Bjerknes nimmt, wie oben ausgeführt, an, daß die Fläche sich bis in den oberen Teil der Troposphäre fortsetzt. Die Frage der Höherstreckung kann jedoch erst beantwortet werden, wenn genügend zahlreiche aerologische Beobachtungen vorliegen. Das in Fig. 2 abgebildete, für die Unterrichtsammlung der Deutschen Seewarte angefertigte Modell zeigt schematisch die Mechanik der asymmetrischen Zyklone. Die Diskontinuitätsfläche ist hier durch Gaze markiert. In der Höhe besteht über der Zyklone eine einheitliche Westströmung, welche das ganze System mit sich fortbewegt.

Bei der Untersuchung genauer, ins einzelne gehender Wetterkarten fand Bjerknes, daß die Diskontinuitätslinien der Zyklone sich auch außerhalb des eigentlichen Depressionsbereiches fortsetzen: Es geht die kalte Front der einen Zyklone über in die warme Front der nächstfolgenden. Die von Zyklone zu Zyklone führende Unstetigkeitslinie nannte Bjerknes die *Polarfront*. Fig. 3 zeigt nach ihm den Verlauf der Polarfront

<sup>3)</sup> Vergleiche die später hierüber folgenden historischen Ausführungen. Früher wurde, unter dem Einfluß der Konvektionstheorie von Ferrel, lange Zeit angenommen, daß die Zyklone symmetrischen Bau hätte mit gleichmäßigen Temperaturverhältnissen und Stromlinien mit stetigem Verlauf in Form von symmetrischen Spiralen zum Zentrum hin, wie es die Figur zeigt.



<sup>4)</sup> Die Unstetigkeitsfläche ist, wie schon betont, ein idealisierter Begriff. In Wirklichkeit ist hier eine Schicht von endlicher Dicke vorhanden, in welcher eine mehr oder weniger rasche, aber stetige Änderung der meteorologischen Elemente vor sich geht.

am 31. XII. 1907 auf der durch das Dänische Meteorologische Institut gemeinsam mit der Deutschen Seewarte herausgegebenen großen synoptischen Wetterkarte, welche den Nordatlantischen Ozean und die anliegenden Kontinente umfaßt. Die Polarfront schlägt hier im wesentlichen drei große Wellen, welchen drei Depressionen entsprechen, über Nordamerika, dem Nordatlantik südlich Island und über Rußland. Die erstere Welle konnte auf den folgenden Wetterkarten deutlich auf ihrem Wege über den Ozean verfolgt werden; sie erreichte, überall die entsprechenden Witterungsvorgänge auslösend, die norwegische Küste fünf Tage später. Der Verlauf der Polarfront ergibt sich auf Grund der oben geschilderten Eigenschaften, aus dem Verlauf der Stromlinien, der Verteilung der Lufttemperatur, der Lage der Niederschlagsstreifen. Wenn auch von der anderen Erdhälfte ausreichende meteorologische Beobachtungen vorlägen, könnte die Front als geschlossene Linie rund um die Erde verfolgt werden. — Sie erhielt die *Bezeichnung Polarfront*, weil sie die Luft polaren Ursprungs im Norden mit verhältnismäßig tiefer Temperatur, großer Trockenheit, guter Sicht und vorherrschender Bewegung aus N und O begrenzt gegen die Luft äquatorialen Ursprungs, welche durch relativ hohe Temperatur, größeren Feuchtigkeitsgehalt, Dunst und vorherrschende Bewegung aus W und S gekennzeichnet ist. Die Polarfront stellt die Schnittlinie einer Grenzfläche mit dem Erdboden dar, welche von hier unter kleinem Winkel nach N zu in die Höhe steigt und die beiden eben charakterisierten verschiedenen Luftmassen voneinander trennt. Die Unstetigkeitsfläche, welche die polare Luftmasse wie eine bewegliche Haut einschließt, definiert durch ihre Schnittlinie mit dem Erdboden die Polarfront.

Bjerknes stellt nun die *Wellentheorie der Zyklonen* auf, als neue Theorie über die Entstehung dieser wichtigen Gebilde. Die Zyklonen entstehen durch Wellenschlagen der großen Unstetigkeitsfläche. Die einzelnen großen und kleinen Wellen der *Polargrenzfläche* sind die Zyklonen verschiedenen Stärkegrades. Die Polargrenzfläche befindet sich im allgemeinen in wellenförmiger, von W nach O fortschreitender Bewegung, also auch die Polarfront, die mit dieser Bewegung die gemäßigte Zone überstreicht und hier die atmosphärischen Zustände hervorruft, welche unser Wetter ausmachen. Je gewellter die Polargrenzfläche, also auch die Polarfront, desto veränderlicher und stürmischer das Wetter. Längs der Polarfront haben wir die größten Wettergegensätze, die stärksten Winde, die plötzlichen Windsprünge, die raschen Temperaturänderungen; längs dieser Linie geht die Bildung von Nebel, Wolken, Niederschlag vor sich. — Natürlich umfaßt, wie bereits hervorgehoben, die Polarfront nicht alle Niederschlagsgebiete, sondern nur die ausgedehnten mit ihr wandernden Regen-



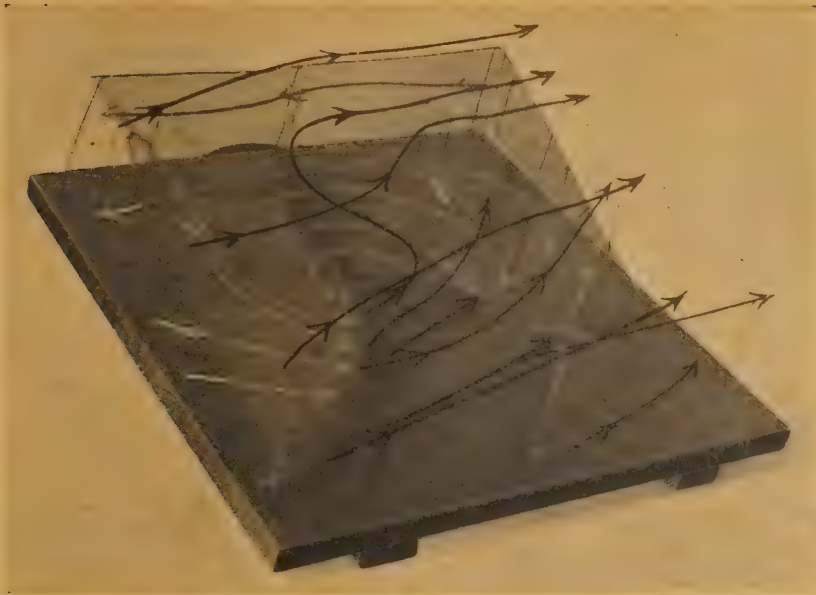


Fig. 2. Modell einer asymmetrischen Zyklone.

Dem Modell liegt der Grundriß der Zyklone nach Fig. 1 (oben) zu Grunde. Die Gazeffläche stellt die Unstetigkeitsfläche dar, sie schneidet das den Erdboden vorstellende Brett in der (Fig. 1, oben, stark ausgezogen) Böenlinie — Kurslinie. Die Stromlinien an der Grundfläche des Modells verlaufen ganz entsprechend wie dort. Es befinden sich aber in dem räumlichen Modell außerdem noch die Stromlinien in der Höhe, in *verschiedener* Höhe verlaufend (daher das scheinbare Kreuzen). Beim Betrachten der Streben kommt das zum Ausdruck. Die Stromlinien vor und über der Gaze (warme Luft) verlaufen im rechten Teil des Modells die schräge Gazeffläche hinauf (vgl. Fig. 1 Querschnitt  $Q_2 Q_2$  rechts). Die Stromlinien unter der Gaze (kalte Luft) sind weiß aufgehellt.

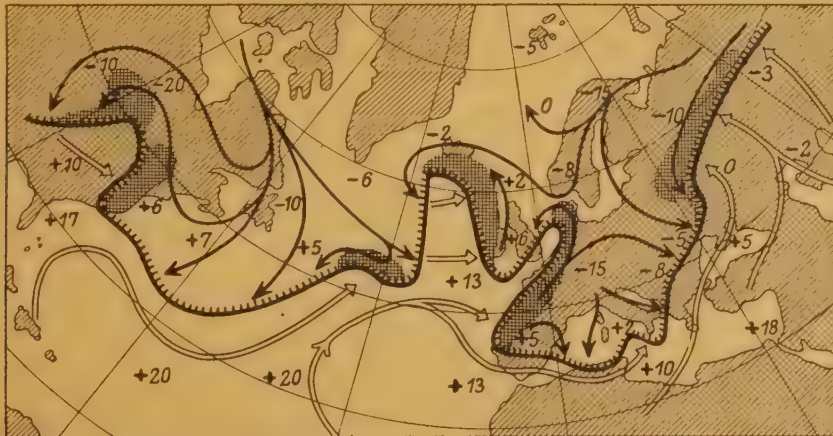


Fig. 3. Verlauf der Polarfront am 31. Dezember 1907 nach Bjerknes. Die Zahlen bedeuten Temperaturen, die schraffierten Streifen die mit der Polarfront sich verschiebenden Niederschlagsgebiete.

bänder. Die sehr wichtigen Regen lokaler Natur (orographischen Regen) treten unabhängig von ihr auf.

Fig. 4 zeigt rein schematisch die gewellte Polarfront. Da, wo eine warme Zunge sich neben einer kalten befindet, liegen die Zyklogen ( $T$ ); das Zyklogenzentrum liegt, wie oben ausgeführt, an der Spitze der warmen Zunge. Die großen vorspringenden Zungen polarer Luft stellen die Gebiete höheren Luftdrucks dar, die Antizyklo-

nen ( $H$ ), verknüpft mit heiterem Strahlungswetter. Die Zyklonenwellen können verschiedene Größe und Gestalt haben; das Lebensalter, die Beeinflussung durch die Beschaffenheit der Unterlage ändern die Form während des Zuges. Die regelmäßige typische Form wird die Zyklone bei flacher Unterlage besitzen, also besonders über dem Ozean; beim „Branden“ über unebenen Kontinenten aber wird sie sehr deformiert werden. In Fig. 4 sind verschiedene Depressionsstadien

und -formen angedeutet<sup>5)</sup>. Gerade einsetzende schwache Wellung der Polarfront bedeutet Entstehen einer Zyklone. Wenn eine warme Zunge weit nach Norden vorgedrungen ist, kann der Fall eintreten, daß sie allmählich abgeschnürt wird; die durch verschiedene Ursachen gebremste warme Front wird von der nachfolgenden kalten eingeholt, die Welle schlägt zusammen. Der warme Sektor ist dann von der weiteren Zufuhr warmer Luft abgeschnitten, d. h. die Zyklone stirbt ab [(T)]. Gleichzeitig kann an der im Süden neu gebildeten Polarfront eine neue Depressionswelle sich bilden auf Kosten der absterbenden nördlichen. Andererseits kann es vorkommen, daß eine kalte Zunge durch besonders kräftiges Nachstoßen polarer Luft weit nach Süden vordringt, von einer anrückenden warmen Zunge vom nährenden Polarluftmeer abgeschnitten wird

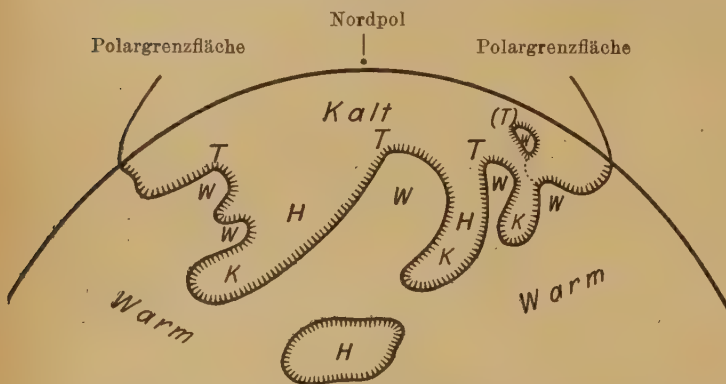


Fig. 4. Schematischer Verlauf der Polarfront, verschiedene Formen und Stadien von Zyklonen und Antizyklonen darstellend. Von der Polarfront aus steigt nach höheren Breiten zu die Polargrenzfläche an; sie trennt die Luft polarer Herkunft von der äquatorialen Ursprungs.

und südlich der neu gebildeten Polarfront eine selbständige Antizyklone bildet, die durch Erwärmung allmählich zerstört wird.

Die ganze Vorstellung gliedert sich in die bestehenden Anschauungen von der großen atmosphärischen Zirkulation ein. Der Luftaustausch, welcher infolge der ständigen Wärmezufuhr in den niederen, Wärmeentziehung in den höheren Breiten zwischen Pol und Äquator stattfinden muß, vollzieht sich bekanntlich zunächst durch eine vertikale Zirkulation so, daß vom Äquator aus die warme Luft in der Höhe nach höheren Breiten abfließt (Antipassat), während unten am Boden die Luft der höheren Breiten dem Äquator zuströmt (Passat). Der obere Südwind wird jedoch infolge der Ablenkung durch die Erdumdrehung in den Roßbreiten bei etwa 20–30° Breite in einen Westwind verwandelt, so daß hier die vertikal übereinander vor sich gehende Zirkulation beendet ist. Der weitere Luftaustausch von den subtropischen zu den polaren Breiten vollzieht sich nun durch horizontal nebeneinander

liegende Luftströme, und zwar im Gegensatz zu dem ständigen Fluß der tropischen vertikalen Zirkulation hier in den gemäßigten Breiten in intermittierender Form: durch die Zyklonen, die so ein wesentliches Glied der großen Zirkulation der Atmosphäre werden und schließlich den Luftaustausch zwischen Pol und Äquator ermöglichen. Oder nach Bjerknes: durch das Wellenschlagen der Polarfront. Hier liegt in den warmen und kalten Zungen ein Strom warmer Südluft neben einem Strom kalter Nordluft. Der in den warmen Zungen der Polarfront gesammelte Strom der südlichen Luft setzt sich in der Höhe in der Polarregion fort. Hier kühlt sich diese Luft ab und erreicht allmählich tiefere Schichten, wodurch hinter der Polarfront anwachsende Massen abgekühlter Luft angehäuft werden. Die Front muß daher beständig vordringen, so daß die Bahnen der entsprechenden Zyklonen immer weiter nach Süden verlagert werden. Schließlich brechen an hierfür günstigen Stellen große Massen kalter Luft durch und breiten sich in der Richtung nach den Tropen aus. Die Polarfront zieht sich entsprechend zurück, die Zyklonenbahnen verlagern sich wieder nach Norden. Das gleiche Spiel beginnt dann von neuem.

Als wichtigste Forderung für die Wettervorhersage ergibt sich die Überwachung der Polarfront und ihrer Bewegungen. Als Quelle der wichtigsten Witterungserscheinungen hat die Polarfront eine große praktische Bedeutung für den Wetterdienst. Wenn ihre Diagnose einwandfrei gelingt, dann wäre für die Wetterprognose viel gewonnen; diese wäre exakter aufzustellen und wenigstens bezüglich des allgemeinen Witterungscharakters vielleicht für Wochen hinaus möglich. Bjerknes regte daher die Einrichtung eines internationalen zirkumpolaren Wetterdienstes an. Norwegen selbst tat im vergangenen Jahre den ersten Schritt hierzu durch Gründung einer mit Funkentelegraphie ausgerüsteten Wetterwarte auf der Insel Jan Mayen. Ermutigt wurde Bjerknes durch die Erfolge, welche er in dem von ihm neu eingerichteten Wetterdienst in Norwegen hatte. Auf Grund eines allerdings außergewöhnlich dichten Netzes von Beobachtungsstationen gelang es ihm unter Benutzung der Polarfront, welche auch in die öffentliche Wetterkarte eingezeichnet wurde, Wettervorhersagen von großer Sicherheit und Genauigkeit zu geben, jedoch nur für kurze Frist.

Von der Bjerknesschen Betrachtungsweise ausgehend gelangt R. Wenger im Hinblick auf die mitteleuropäischen Witterungsverhältnisse zu einem veränderten, nicht so einfachen Schema der Zyklonenstruktur, worauf hier aber nicht eingegangen werden soll (8).

Die Anschauungen, welche Bjerknes entwickelte, stellen im Grunde genommen nicht etwas ganz Neues dar. Bereits in der Mitte des vorigen Jahrhunderts stellte die Lehre von

<sup>5)</sup> Nach einem Vortrag von J. Bjerknes auf der Deutschen Seewarte.



K. Dove die Windströmungen in den Vordergrund und legte der Witterung den „Kampf“ zwischen polaren und äquatorialen Strömungen zugrunde, allerdings in Verquickung mit wesentlichen Irrtümern. Helmholtz leitete 1888 das Bestehen einer Gleitfläche in der Atmosphäre ab aus theoretischen Überlegungen über die Bedingungen, unter welchen eine kalte Luftmasse neben einer warmen bestehen kann. Margules führte diese Theorie fort unter Zugrundelegung des gesetzmäßigen Zusammenhangs zwischen den Geschwindigkeits- und Temperaturoegensätzen zweier Luftmassen mit dem Neigungswinkel der entstehenden Grenzfläche. Bei den nahe der Erdoberfläche vorkommenden Wind- und Temperaturunterschieden ist dieser Keilwinkel sehr klein (meist Bruchteile eines Grades). Das Bestehen einer nach Norden zu allmählich ansteigenden Grenzfläche zwischen der kalten Polarluft mit Ostwinden und den warmen Westwinden der gemäßigten Breiten entspricht der Theorie. Margules hat auch gezeigt, daß beim Vorstoßen kalter Luft, also dem Sinken kalter Luft unter Hebung warmer, die potentielle Energie der gesamten Luftmasse vermindert wird und dementsprechend lebendige Kräfte frei werden, welche sich (längs der kalten Front) als Stürme äußern. Der Amerikaner Bigelow hat in seiner „Gegenstromtheorie“ auf die große Bedeutung des Nebeneinanderliegens von kalten und warmen Luftströmungen in bezug auf die Entstehung der Depressionen der höheren Breiten hingewiesen und festgestellt, daß die Zyklonen ein wichtiges Glied der allgemeinen atmosphärischen Zirkulation darstellen. H. Ficker hat die Kälte- und Wärmewellen untersucht; seine „Isochronen“ gleichzeitigen Eintretens starker Erwärmung bzw. Erkaltung fallen mit den warmen bzw. kalten Fronten von Bjerknes zusammen. Die Ausbreitung einer kalten Luftmasse und die Fortpflanzung von Kältezungen auf der Rückseite einer Depression hat F. M. Exner näher untersucht. Die Ergebnisse der oben erwähnten Meteorologen bezüglich der asymmetrischen Natur der Zyklonen hat Exner zusammenfassend bearbeitet, wobei er feststellen kann, daß sie mit denen von Bjerknes im wesentlichen übereinstimmen (9). Übrigens hat auch der englische Meteorologe N. Shaw bereits früher ein Schema einer asymmetrischen Zyklone entworfen, das mit dem Bjerknesschen Grundriß Ähnlichkeit hat. Bjerknes geht jedoch weiter, einerseits durch die genauere Betrachtung der meteorologischen Vorgänge in den Zyklonen, besonders der Kondensationserscheinungen, andererseits durch die bestimmtere Fassung auf Grund der Polarfront.

Allerdings bleibt Bjerknes noch die Aufgabe, die Wellentheorie der Zyklonen theoretisch zu begründen<sup>6)</sup>. Exner haben seine Untersuchungen

dahin geführt, die Entstehungsursache der Zyklonen anders aufzufassen als Bjerknes. Das Vordringen der Polargrenzfläche infolge Anhäufung kalter Luft in der Polarkalotte geschieht nicht gleichmäßig und in symmetrischer Anordnung zur Erdachse, sondern wird in sehr verwickelter Weise beeinflusst durch Hemmung der Bewegung an der Erdoberfläche und durch die infolge der ungleichen Verteilung von Wasser und Land vorhandenen Temperaturanomalien. An gewissen Stellen der Erde erleidet so die Grenzfläche erhebliche Ausbuchtungen. In der Gegend von Grönland wird sie z. B. stark nach Süden vorgedrückt werden, im Gebiet des Golfstroms aber eine bedeutende Ausbuchtung nach Norden haben. Unter solchen Umständen können die warmen Westwinde die kalte Luftmasse nicht überall im Gleichgewicht halten, besonders an den vorstoßenden Kältezungen stimmt der vorhandene Keilwinkel nicht mehr mit den vorhandenen Temperatur- und Geschwindigkeitsgegensätzen überein, so daß die Gleichgewichtsbedingung gestört ist. Die Grenzfläche wird durchbrochen, die kalte Luftmasse fließt, ihrem größeren spezifischen Gewicht folgend, unter die warme. Die kalte Luft hat hierbei eine sehr selbständige Bewegung, ihre Ausbreitung ist primäre und wesentliche Ursache für die Wettergestaltung. Die Entstehung der Zyklone ist auf das unter Ablenkung durch die Umdrehung der Erde vor sich gehende Übereinandersetzen der ursprünglich nebeneinanderliegenden warmen und kalten Luftmassen zurückzuführen; hierin stimmt Exner mit Bjerknes überein. Exner glaubt jedoch, daß die Zyklonen nicht periodische Wellen an der stabilen Polargrenzfläche sind, sondern daß sie an das selbständige, mehr oder weniger periodische Auftreten von Kälteeinbrüchen geknüpft sind, welche letzteren Vorgang man mit der Bildung von Tropfen beim Ausfluß aus einem Gefäß vergleichen kann.

An sich kommt die Wellentheorie der Zyklonen unseren Anschauungen sehr entgegen. Die Luftdruckregistrierung zeigt ja deutlich das wellenförmige, wenn auch nicht streng periodische Auftreten der wandernden Depressionen. Wie A. Wegener zeigte, begegnet aber die Auffassung, daß es sich um Schwingungen der Polargrenzfläche selbst handelt im Sinne von Helmholtzschen Luftwogen, schwerwiegenden Bedenken (10). Aus der Helmholtzschen Theorie der Wellen an Unstetigkeitsflächen folgt, daß die Wellenlänge um so größer wird, je kleiner der Temperatursprung (Dichtesprung) ist. Die aus der Erscheinung der Wogenwolken an atmosphärischen Inversionsflächen bekannten Wellenlängen (am häufigsten etwa 400—500 m) stehen mit dem aus der Theorie hierfür geforderten Temperatursprung in Übereinstimmung. Größere Wellenlängen von 1—2 km kommen nur selten vor, und hierfür ist schon ein recht kleiner Temperatursprung Bedingung, wie er durch die unver-

<sup>6)</sup> Eine theoretische Arbeit von V. Bjerknes hierüber ist bereits angekündigt.



meidlichen Störungen leicht unwirksam gemacht wird. Diese Verhältnisse lassen es bedenklich erscheinen, die rund tausendmal längeren Zyklonenwellen als Helmholtzsche Luftwogen zu betrachten. Es erscheint allgemein nicht angängig, anzunehmen, daß eine Zyklone mit einem Durchmesser von etwa 2000 km und einer Höhe von höchstens 10 km, welche sich notwendigerweise über Räume mit recht verschiedenen Temperaturen erstreckt, durch den Betrag einer sehr geringfügigen, vielleicht 1—2° betragenden Temperaturinversion merkbar beeinflußt werden kann, daß sie als Helmholtzsche Welle lediglich eine Schwingung dieser Inversionsfläche um ihre Gleichgewichtslage darstellen soll. A. Wegener betont ferner, daß die Erklärung der Zyklone unserer Breiten auch die des tropischen Zyklons umfassen muß. Es spricht aber alles dagegen, daß bei den tropischen Zyklonen Temperaturunterschiede vorhanden sind und bei der langsamen Wanderung und schnellen Umdrehung (Durchmischung) vorhanden sein können. Wegener glaubt daher, ohne indes die Frage für spruchreif zu halten, daß die Entstehung der Zyklonen nicht auf thermische Gegensätze zurückzuführen ist, sondern daß die Zyklonen anderen dynamischen Charakters sind, Gebilde ähnlich den aus der Hydrodynamik in homogenen Strömungen bekannten Wellen- und Wirbelvorgängen. Die Wellentheorie der Zyklonen an sich bleibt unter diesem Gesichtspunkt in voller Bedeutung erhalten. Die im einzelnen vorhandene thermische und dynamische Struktur der Zyklonen wird ebenfalls in ihrer Bedeutung für die Witterungserscheinungen hierdurch nicht geschmälert; aber sie ist nicht mehr physikalische Ursache der Zyklonenentstehung, sondern *Begleiterscheinung*.

Eine Frage, welche weiter der Klärung bedarf, ist die, wie sich die *hohen* Zyklonen und Antizyklonen in die obigen Anschauungen einpassen. Das geschilderte Zyklonenmodell bezieht sich zunächst nur auf die niedrigen bewegten Zyklonen, welche auf die unteren Schichten beschränkt sind. Bjerknes nimmt zwar an, daß die Gleitflächen durch die ganze Troposphäre bis an die Grenze der Stratosphäre hinaufreichen. Das ist jedoch fraglich. Man kennt bisher keinen Fall direkter Messung, daß eine Inversion die Troposphäre vom Boden bis zum Cirrusniveau durchsetzt hätte; nennenswerte Inversionen über 4 km Höhe sind bisher noch nicht gefunden worden. Es sind ferner bei hohen Depressionen Fälle bekannt, wo die Druckregistrierung nicht der thermischen Anschauung entsprach, wo sogar eine Kältewelle nicht mit steigendem, sondern mit fallendem Druck verbunden war. Es müssen sich hier also in der Höhe ausgleichende, ja überkompensierende Vorgänge geltend machen. Das Wesen solcher „zusammengesetzten“ Gebilde, mit welchen sich besonders H. Ficker beschäftigt hat, ist noch nicht genügend bekannt. Exner glaubt, daß bei den hohen Luftdruckgebilden der obere

Teil symmetrischen Bau hat und erst darunter die Erscheinung der Asymmetrie auftritt und langsam gegen den Boden zunimmt.

Die theoretischen Erörterungen sind also noch voll im Fluß. Die Aufgabe ist, festzustellen, inwieweit bei der Entstehung der Depressionen *thermische*, inwieweit *mechanische* Ursachen maßgebend sind und wo die Grenze zwischen beiden liegt.

Durch die Anwendung des ganzen durch „Polarfront“ gekennzeichneten Anschauungskomplexes wird in der praktischen Meteorologie zweifellos ein großer Fortschritt erzielt werden. Es ist bereits mehrfach von Meteorologen, welche die neue Methode heranziehen, betont worden, wie sehr diese das Auge des Prognostikers für die einzelnen Witterungszustände und -vorgänge schärft. Es ist jedoch nicht zu verhehlen, daß jedenfalls einstweilen noch der allgemeinen Anwendung im Wetterdienst zum Teil erhebliche Schwierigkeiten entgegenstehen. Über See, wo ungestörte Verhältnisse vorliegen, ist die Diagnose der Polarfront noch am ehesten möglich. Sie würde hier noch gefördert werden, wenn neben den Beobachtungen der Lufttemperatur auch gleichzeitig solche der Oberflächentemperatur des Wassers in genügender Zahl vorlägen; denn die Differenz beider Werte läßt einen guten Schluß auf die Herkunft der Luft (polare oder tropische) zu. Allgemein wird der Verlauf der Polarfront in der Nähe der eigentlichen Zyklonenbahn, wo die Unstetigkeiten in den meteorologischen Elementen mit stärkerer Ausprägung auftreten, besser festzustellen sein, also besonders in höheren Breiten. Wir in Deutschland bekommen häufig nur das Ende der warmen und kalten Front zu spüren, wo die Gegensätze schon schwach und verwischt sind. Auf dem unebenen Kontinent treten zudem Hemmungs- und Brandungsvorgänge auf, welche die Polarfront stark verwickelt gestalten können. Dann sind hier die Beobachtungen durch *lokale* Besonderheiten, durch Strahlungsvorgänge, Abkühlung durch Regen usw. stark beeinflußt, so daß sich die Verhältnisse in den Bodenschichten geradezu umkehren können. Vorgänge sekundärer (lokaler) Natur überlagern die rein zyklonischen und machen letztere schwer erkennbar. Bei der vielfach gestörten Zyklone kann sich sowohl auf der Vorder- wie Rückseite eine größere Zahl von Frontstücken entwickeln (entsprechend den Randdepressionen), welche auf das Wetter von großem Einfluß sind, aber nicht in das Polarfrontschema eingepaßt werden können. Diese Tatsache hat wohl auch Wenger veranlaßt, sein komplizierteres Schema mit „falschen“ Fronten aufzustellen, welches allerdings der theoretischen Behandlung größere Schwierigkeiten als das von Bjerknes entgegengesetzt. Ein wesentlicher Fortschritt in der Diagnose der Wetterlage und damit in der Prognose würde zweifellos erzielt werden, wenn



Beobachtungen aus einer vom Boden nicht mehr beeinflussten Höhe in ausreichender Anzahl vorhanden wären. Die Forderung nach Vermehrung der aerologischen Warten ergibt sich aus diesen praktischen Gründen ebenso wie aus Gründen des Fortschritts der Theorie. Das Endziel wäre: aus der durch die aerologischen Aufstiegsresultate erlangten Kenntnis der Höhenlagen der thermischen und dynamischen Inversionen den räumlichen Verlauf der Grenzflächen für bestimmte Termine in Form von Isohypsenkarten festzulegen. Auch das Netz der Bodenbeobachtungsstationen, wie es heute für den täglichen Wetterdienst vorliegt, reicht noch nicht aus. Es ist dem Ausschnitt nach nicht umfangreich genug, um in allen Fällen die Polarfront in einer ausreichenden Länge zu erfassen, was nötig ist, um ihre Vorgeschichte und die daraus sich ergebende, für die Prognose grundlegende Änderungstendenz zu erkennen. Andererseits ist das Beobachtungsnetz für viele Fälle zu weitmaschig, um den Frontverlauf einwandfrei festlegen zu können. Besonders zweckmäßig wäre für den Wetterdienst auf Grund der Überwachung der Polarfront eine Organisation: „Weltwetteramt, Reichswetteramt, Bezirkswetteramt“, wobei diese in gegenseitiger Unterstützung auf Grund des für den zuständigen Bereich vorhandenen Beobachtungsmaterials in der obigen Reihenfolge zeitlich und räumlich immer begrenztere Prognosen herausgeben.

Es besteht kein Zweifel: trotz aller Schwierigkeiten, die in Theorie und Praxis noch vorhanden sind, haben die Forschungsergebnisse der modernen Meteorologie, wie sie gipfeln in der bestimmten Fassung der asymmetrischen Zyklone und der Polarfront, unsere Kenntnisse vom eigentlichen Wesen der atmosphärischen Vorgänge bedeutend erweitert. Die mehr als bisher physikalisch gerichtete Auffassung, die bestimmte, leicht faßliche dynamische Betrachtungsweise ist allenthalben in der Meteorologie lebhaft aufgegriffen worden. Sie wird für die weitere Entwicklung der Meteorologie von großem Einfluß sein, besonders auch für die praktische Wetterkunde, welche hiervon die seit langem ersehnte wesentliche Fortbildung der Vorhersagemethoden erhofft.

#### Literatur:

1. J. Bjerknes, Über die Fortbewegung der Konvergenz- und Divergenzlinien. Meteorol. Zeitschrift 1917, S. 10.
2. V. Bjerknes, Wettervorhersage. Meteorol. Zeitschrift 1919, S. 68.
3. J. Bjerknes, On the structure of moving cyclones. Geofysiske Publikationer I, 2. Kristiania 1919.
4. V. Bjerknes, The structure of the atmosphere, when rain is falling. Quarterly Journal of the R. Met. Soc., London 1920, S. 119.
5. V. Bjerknes, Om Vaer- og Stormvarslingar og Veien til at forbedre dem. Teknisk Ukeblad Nr. 22, 1920.
6. V. Bjerknes, The meteorology of the temperate zone and the general atmospheric circulation.

Nature, Juni 1920, und Monthly Weather Review 1921, S. 1.

7. J. Bjerknes und H. Solberg, Meteorological conditions for the formation of rain. Geofysiske Publikat. II, 3. Kristiania 1921.
8. R. Wenger, Neue Grundlagen der Wettervorhersage. Meteorolog. Zeitschrift 1920, S. 241.
9. F. M. Exner, Anschauungen über kalte und warme Luftströmungen nahe der Erdoberfläche und ihre Rolle in den niedrigen Zyklenen. Geografiska Annaler II, 3, S. 225. Stockholm 1920.
10. A. Wegener, Sind die Zyklenen Helmholtzsche Luftvogen? Meteorolog. Zeitschrift 1921, S. 300.

### Besprechungen.

Ostwald, Wilhelm, Die Farbenlehre. 4. Buch. Physiologische Farbenlehre v. H. Podestà. Leipzig, Unesma G. m. b. H., 1922. XI, 274 S., 29 Abb. und 1 Tafel. 16×25 cm. Preis M. 40,— + 20 % Sort.-Zuschlag.

Seit einer Reihe von Jahren beschäftigt sich W. Ostwald mit Arbeiten über den Farbensinn. Er ist dabei bestrebt, seinen z. T. in engem, wenn auch unbewußtem Anschluß an Herings Gedankengänge sich aufbauenden theoretischen Auffassungen eine praktische Auswertung zu geben. In Großbothen sind auf Ostwalds Anregung hin die Energiewerke G. m. b. H. entstanden, welche sich zur Aufgabe gestellt haben, namentlich für das Kunstgewerbe die durch Ostwalds Forschungen gewonnenen Ergebnisse nutzbar zu machen. Über die Farben- und neuerdings auch über die Formenharmonien liegen zusammenfassende Darstellungen von Ostwald vor, die als Frucht seiner eingehenden Studien Beachtung verdienen, wenn sie mitunter auch, wie es kürzlich durch eine Entschließung der Künstlerschaft einer süddeutschen Stadt geschah, als nicht für die reine Kunst gültig, abgelehnt worden sind. Doch bietet die Lektüre dieser Bücher mannigfache Anregung. Ostwald hat eine zusammenfassende Darstellung seiner Forschungen in dem auf 5 Bücher berechneten Werk: „Die Farbenlehre“ in Angriff genommen. Von diesen liegen bisher 2 von Ostwald selbst geschriebene Bände vor. Der erste umfaßt die „mathetische“ Farbenlehre, d. h. er beschäftigt sich mit der Ordnung der vorkommenden Farbeempfindungen, ausgehend von dem Gedanken, daß zu einer ersprießlichen Forschung in einer Disziplin zunächst ihre Einordnung in das Gesamtgebäude der Wissenschaften und sodann eine strenge systematische Gliederung der zugrunde liegenden Tatsachen notwendig ist. Der zweite Band, der sich mit der physikalischen Farbenlehre befaßt, bietet die Schilderung der physikalischen Vorbedingungen für das Farbensehen, welches als psychisches Phänomen in dem Schlußband behandelt werden wird. Der dritte bisher noch nicht erschienene Band soll eine Chemie der Farbenlehre bringen, also voraussichtlich wohl eine Chemie der Farbstoffe. Der jetzt vorliegende vierte Band behandelt die Physiologie des Farbensinnes. Wie Ostwald in einem Vorwort bemerkt, fühlt er sich auf diesem Gebiet zu wenig zu Hause und konnte die Zeit zum Einarbeiten in diese schwierigen Fragen nicht mehr erübrigen. Er hat deshalb die Bearbeitung dem Marinegeneralarzt a. D. Podestà, der durch Herausgabe von sogenannten pseudoisochromatischen Tafeln zur Untersuchung auf Farbtüchtigkeit bekannt ist, übertragen. Von allgemeinem Gesichtspunkte aus muß bedauert werden, daß damit die Einheitlichkeit des



Ostwaldschen Werkes gestört, und seine wertvolle Eigenartigkeit, die trotz mancher berechtigter Widersprüche anerkannt zu werden verdient, verloren gegangen ist. *Podestà* beschränkt sich darauf, im wesentlichen ohne kritische Stellungnahme, den Stand der Physiologie des Farbensinnes zur Darstellung zu bringen, wie er auch schon vor 10 Jahren in gleicher Weise von *Köllner* in dem Werke „Störungen des Farbensinnes“ geschildert worden war. Dabei werden die erworbenen Farbensinnanomalien hier nicht mit abgehandelt. Man vermißt einen bestimmten Standpunkt, von dem aus das schwierige Gebiet in seine einzelnen Verzweigungen verfolgt wird. Es mag dieses vielleicht dadurch bedingt sein, daß Verf. gar nicht die Absicht hatte, ein für den Wissenschaftler zu benutzendes Werk zu geben, sondern daß er sich an die weiteren Kreise des Volkes richtet, also eine populäre Darstellung zu liefern beabsichtigte. Demgemäß fehlen durchweg Zitate, so daß von diesem Gesichtspunkt aus das Buch als einführende und wegleitende Darstellung nicht wohl empfohlen werden kann. Dem populären Charakter Rechnung tragend hat Verf. am Eingang eine kurze Darstellung der Anatomie und Physiologie des Sehorgans gegeben, die leider nicht in jeder Hinsicht dem modernen Stand unseres Wissens gerecht wird. Anhangsweise findet sich eine Gesundheitspflege des Auges, in der auch einzelne Augenkrankungen in populär-wissenschaftlicher Weise besprochen werden. Der Eingang und Schluß stehen nur in ganz losem Zusammenhang mit dem eigentlichen Thema und haben mit dem ganzen Ostwaldschen Werk keine organische Beziehung. Immerhin ist auch dieser Band als Zeichen zunehmenden Interesses an den Fragen der Physiologie des Farbensinnes zu begrüßen. Er wird sicherlich seinen Leserkreis finden.

A. Brückner, Jena.

**Lind, S. C., The Chemical Effects of Alpha Particles and Electrons.** American Chemical Society Monograph Series. Book Department, The Chemical Catalog Company, Newyork 1921, 182 S. Preis 3 Dollars.

Das vorliegende Buch erscheint in einer Reihe von Einzelschriften, die von der Amerikanischen Chemischen Gesellschaft herausgegeben werden. Aus einer allgemeinen Einleitung zu der ganzen Reihe erfährt man, daß die Anregung zu diesem Unternehmen von der interalliierten Konferenz für reine und angewandte Chemie ausging, die im Jahre 1919 in Brüssel und London tagte. Die Amerikanische Chemische Gesellschaft und das „National Research Council“ haben sich vereinigt, um Monographien auf dem Gebiete der wissenschaftlichen und technischen Chemie und Physik zu veröffentlichen. Es wurde eine Organisation geschaffen, ein Fachausschuß eingesetzt und die Einleitung schließt mit dem Hinweis, daß „die Veröffentlichung dieser Bücher einen deutlichen Abschnitt in der Politik der Amerikanischen Chemischen Gesellschaft bedeute, da sie einen ernstlichen Versuch darstelle, ohne Rücksicht auf geschäftliche Erwägungen eine amerikanische chemische Literatur zu schaffen. . . .“. So bildet das Unternehmen zweifellos einen neuen Beweis dafür, daß man in Amerika bemüht ist, die Naturwissenschaften in großem Maßstabe zu fördern.

Das Buch von *Lind* bietet viel mehr als der Titel erwarten läßt. Bisher gab es kaum eine zusammenfassende Darstellung der chemischen Wirkungen der

Korpuskularstrahlen, vielleicht deshalb, weil eine solche so sichtbar Gefahr lief, zu einer ermüdenden Aufzählung einzelner Beobachtungen zu werden. Dem unbefriedigenden Eindruck der reinen Empirie konnte man sich auch beim Lesen mancher Abhandlungen aus diesem Gebiete nicht entziehen. Dem Verf. ist es gelungen, nicht nur das Verbindende zwischen den zahlreichen einzelnen Untersuchungen lebendig herauszuarbeiten, sondern das Gebiet in engen Zusammenhang mit der Photochemie und der chemischen Kinetik zu bringen.

Nach einer kurzen Einleitung über Radiochemie, unter der der Verf., im Gegensatz zu vielen Autoren, nicht die Chemie der radioaktiven Elemente, sondern die Lehre von den durch Strahlungen aller Art bewirkten chemischen Erscheinungen versteht, bringt das nächste Kapitel die zum Verständnis der folgenden notwendigen Kenntnisse über die Erscheinungen der Radioaktivität. Dann wird die Ionisierung durch die verschiedenen Strahlenarten behandelt, die als Primäreffekt in den Vordergrund gestellt wird. Die folgenden Kapitel behandeln die bisher untersuchten Beispiele chemischer Wirkung der Korpuskularstrahlen und ihre quantitativen Beziehungen zur Ionisation. Die kinetischen Gleichungen werden für den speziellen Fall von mit Emanation gemischten reaktionsfähigen Gasen abgeleitet und an der Erfahrung geprüft. Die immer im Vordergrund der Betrachtung stehende Beziehung zwischen Ionisation und chemischer Wirkung führt zur Einbeziehung der durch elektrische Entladungen bewirkten Reaktionen und der Entstehung elektrischer Ladungen bei chemischen Reaktionen.

Diese Fragen bilden den Übergang zu den Lichtreaktionen, denen ein eigenes Kapitel gewidmet ist, das als besonders gelungen bezeichnet werden muß. Das Einsteinsche Äquivalenzgesetz, seine Anwendungen, die Ergebnisse seiner experimentellen Prüfung, die Deutung der Abweichungen und die daraus sich ergebenden Vorstellungen über den Mechanismus der Lichtreaktionen finden hier eine bei aller Knappheit sehr klare Darstellung, die sich auch noch auf die neuesten Versuche, auch die Kinetik der Dunkelreaktionen mit der — im System herrschenden — Strahlung zu verknüpfen, erstreckt.

Es folgen Kapitel über die Kanalstrahlen und ihre Anwendungen zum Nachweis von Isotopen, über die chemischen Wirkungen von Rückstoßatomen, mit deren Untersuchung sich der Verf. selbst beschäftigt hat, und schließlich über die Zertrümmerung von Atomen durch Alphastrahlen.

Die historische Entwicklung hat es mit sich gebracht, daß das Gebiet der Radioaktivität allzu lange ein gesondertes Dasein führte, von der Chemie scheinbar durch eine tiefe Kluft getrennt, mit der Physik durch experimentelle Methodik und theoretische Deutung verknüpft. Den Eindruck, den man aus der Zeitschriftenliteratur gewinnt, daß diese Periode überwunden ist, findet man beim Lesen dieses Buches bestätigt: Von der chemischen Kinetik bis zur Atomzertrümmerung greifen die Probleme ineinander und das *Lindsche* Buch darf deshalb besonders die Aufmerksamkeit der Chemiker beanspruchen.

Man liest das ganze Buch mit dem Genuß und der Befriedigung, die eine sachlich und didaktisch hochstehende Darstellung gewährt.

H. v. Halban, Würzburg.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 22. (Seite 505—520)

2. Juni 1922.

Zehnter Jahrgang

**LIBRARY**  
**RECEIVED**  
**JUL 18 1922**

## INHALT:

U. S. Department of Agriculture

Photokatalysen in Pflanzen. Von *Karl Boresch*,  
*Prag*. S. 505.

Wie wir rechts- und linksäugige Eindrücke unterscheiden. Von *H. Köllner*, *Würzburg*. (Mit 2 Abbildungen.) S. 512.

Deutsche Meteorologische Gesellschaft (Berliner Zweigverein):

Lufttrockenheit auf dem Brocken im November

und Dezember 1921. Untere Grenzwerte dichter Niederschläge. Das Sichtproblem. S. 516.

Mitteilungen aus der technischen Optik. S. 517—520.

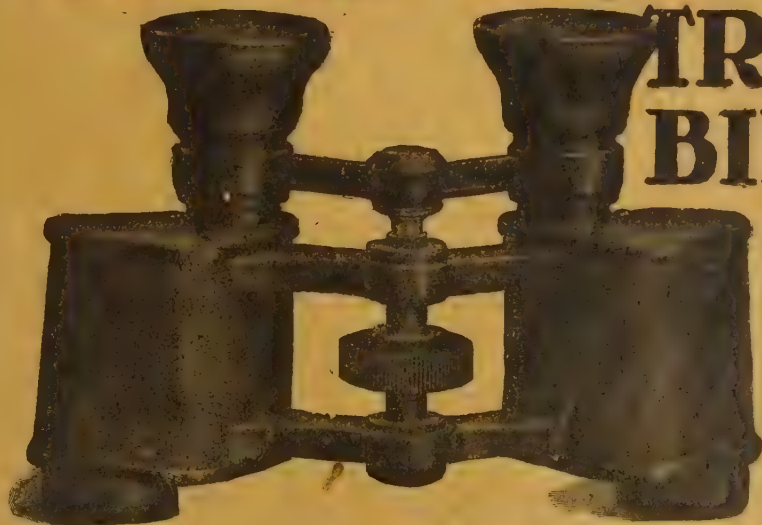
Über die Struktur geschliffener und polierter Glasoberflächen. Die physikalische Bedeutung der sphärischen Abweichung.

Astronomische Mitteilungen. S. 520.

Der Maßstab des Universums.

# GOERZ

## TRIËDER BINOCLE



für

Reise, Sport, Jagd.

Zu beziehen durch die optischen  
Geschäfte.

Man verlange reich illustrierten  
Katalog.

Optische Anstalt C. P. Goerz Aktien-Gesellschaft, Berlin-Friedenau 45

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 60.— für das zweite Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 6.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer**, Berlin W 9, Link-Str. 23/24  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbach.

Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin. Depositen-Kasse C.

**Postscheck** für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 2020 Julius Springer.  
für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 11899 Julius Springer.

Konten: Springer.

### Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

**J. D. Möller, Wedel in Holstein.**  
Gegründet 1864. (250)

### Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

**zu Kaufen gesucht.** Angebote unter  
Nw. 236 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

Chemische Fabrik sucht zur Einrichtung  
und Leitung ihrer Versuchsstation für  
Pflanzenschutz einen

# HERRN

der in allen einschlägigen Fragen genügend Erfahrung besitzt, um neue Pflanzenschutzmittel selbständig zu prüfen und Anregungen zur Herstellung und Anwendung von solchen zu geben. Ausführliche Bewerbung unter **Nw. 286** an die Expedition dieser Zeitschrift erbeten. (286)

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Soeben erschien:

## Kurzes Lehrbuch der Physiologischen Chemie

Von

**Dr. Paul Hári**

ö. ö. Professor der physiologischen und pathologischen Chemie an der Universität Budapest

Zweite, verbesserte Auflage

Mit 6 Textabbildungen. (X, 354 S.)

Gebunden Preis M. 99.—

Inhaltsübersicht:

I. Physikalisch-chemische Vorbemerkungen. — II. Die chemischen Bestandteile des tierischen Körpers. — III. Kohlenhydrate. — IV. Fette und fettartige Körper (Lipoide). — V. Eiweißkörper (Proteine). — VI. Blut, Lymphe und das Sekret der serösen Häute. — VII. Chemische und physikalisch-chemische Vorgänge im Verdauungstrakt. — VIII. Der Harn. — IX. Milch und Colostrum. — X. Chemie verschiedener Organe, Gewebe und Sekrete. — XI. Innere Sekretion. — XII. Stoffwechsel und Energieumsatz.



## Photokatalysen in Pflanzen.

Von Karl Boresch, Prag.

Mannigfaltig sind die Wirkungen des Lichtes auf die Pflanze. Viele von ihnen sind bereits als photochemische Reaktionen erkannt, aber auch dort, wo ihr Wesen heute noch nicht aufgeklärt ist, ist die Annahme lichtchemischer Umsetzungen in dem chemisch so reaktionsfähigen, labilen Substrat des Protoplasmas nächstliegend. Die Photochemie lehrte uns eine große Zahl photochemischer Prozesse kennen, darunter die wichtigen *katalytischen Lichtreaktionen*, denen auch in der Pflanze eine große Bedeutung zukommt.

Man pflegt von Lichtkatalysen zu sprechen, wenn in der Richtung der chemischen Kräfte verlaufende Reaktionen durch Belichtung beschleunigt werden, und nennt einen Stoff, der nur im Lichte auf den Ablauf eines chemischen Prozesses beschleunigend einwirkt, einen Lichtkatalysator. Wenn man an dieser Begriffsfassung festhalten will, muß man sich stets vor Augen halten, daß sich darunter sehr verschiedenartige Vorgänge verbergen. Schon die Abgrenzung der Photokatalysen gegen die durch Temperaturerhöhung erzielbaren Reaktionsbeschleunigungen bereitet Schwierigkeiten, weil das einstrahlende Licht zum Teil chemisch, zum Teil aber auch thermisch, also unter Umwandlung in Wärme absorbiert wird. Die Beschleunigung eines chemischen Vorganges im Lichte setzt voraus, daß er im Dunkeln mit geringerer Geschwindigkeit verläuft, und wenn diese unmeßbar klein ist, erhält man den Eindruck, als ob der Prozeß erst durch Bestrahlung verwirklicht würde. Die Reaktionsbeschleunigung ist entweder durch einen von vornherein vorhandenen (oder eingeführten) Katalysator bedingt, oder der Katalysator entsteht erst während der Reaktion, z. B. durch einen endothermen photochemischen Prozeß; in diesem Falle kann seine Bildung dem zu katalysierenden Vorgang koordiniert und von ihm unabhängig sein, oder sie ist der zu katalysierende Vorgang selbst oder ein Teil desselben; dann wird der im Lichte entstehende Katalysator seine eigene Bildung katalysieren, und wir können solche Prozesse als *Autophotokatalysen* oder *Autosensibilisierungen* bezeichnen; naturgemäß kann es dabei zu einer bedeutenden Mengenzunahme des Katalysators kommen.

Ist der katalysierbare Vorgang an und für sich lichtempfindlich, so kann der vorhandene oder entstehende Katalysator rein chemisch wir-

ken — *chemischer Sensibilisator*, z. B. zugesetzte, die Sauerstoffübertragung fördernde Mittel im photographischen Ausbleichverfahren oder etwa in einem photochemischen Prozeß entstehende Wasserstoffionen. Ist jedoch der katalysierende Vorgang selbst nicht photosensibel, dann muß der Katalysator der Träger der Lichtempfindlichkeit des Systems sein, muß Lichtenergie absorbieren — *optischer Sensibilisator* oder *Photokatalysator*; natürlich muß auch er mit dem Substrat irgendwie chemisch reagieren, um die Lichtenergie auf dasselbe zu übertragen (Übertragungskatalysen). Photokatalysatoren können aber auch einen an sich lichtempfindlichen Prozeß katalysieren und dann eine Verschiebung seiner Lichtempfindlichkeit in die von ihnen absorbierten Spektralbezirke bewirken. Das Absorptionsvermögen der optischen Sensibilisatoren verrät sich häufig durch ihre Eigenfarbe und durch ihre Fluoreszenz. Zu den Photokatalysatoren zählt man das Chlor, gewisse Metalle und zahlreiche fluoreszierende organische Stoffe und Farbstoffe. Das Chlor kommt als photobiologischer Katalysator nicht in Betracht, hingegen dürften gewisse Metallsalze und vor allem die in Pflanzen weit verbreiteten fluoreszierenden Farbstoffe eine namhafte Rolle als Lichtkatalysatoren spielen.

Auf die große Bedeutung der *mineralischen* Katalysatoren als Überträger der Lichtenergie im Organismus weisen die Befunde *Neubergs* hin, daß besonders Uransalze und die überall in den Organismen vorkommenden Eisenverbindungen, auch Mangansalze schon in minimalen Mengen und im diffusen Tageslicht, selbst bei Ausschluß der bekannt kräftig wirkenden ultravioletten Strahlen „eine ganz universelle Wirkung auf alle wichtigen Bausteine der pflanzlichen und tierischen Leibessubstanzen entfalten“. Bei dem heutigen Stande unserer Kenntnisse wäre es verfrüht, die Rolle des Eisens bei der Chlorophyllbildung in der Pflanze schlankweg als die eines Lichtkatalysators anzusprechen. Tatsache ist aber, daß die meisten höheren grünen Pflanzen bei Eisenmangel den grünen Blattfarbstoff nicht ausbilden können, daß ihre sonst grünen Organe deshalb bleich, „chlorotisch“ werden. Verf. konnte jüngst zeigen, daß sich die durch Eisenmangel hervorgerufene *Chlorose* auch bei einer Spaltalge experimentell herbeiführen läßt. Wie bei höheren Pflanzen läßt sich auch bei dieser Alge die Chlorose „heilen“; wenn man sie unter Zufuhr von Eisensalzen der Wirkung des Lichtes aussetzt, stellt sich wieder die normale Farbstoffbildung

ein. Nun wissen wir aber, daß das Chlorophyll, von dem man es lange Zeit geglaubt hat, eisenfrei ist. Daher muß die Rolle des Eisens bei der Chlorophyllbildung in anderen Ursachen als in seiner Konstitution gesucht werden. Vorerst stehen jedoch gegen die Annahme einer lichtkatalytischen Funktion des Eisens bei der Entstehung des Chlorophylls die vergeblichen Bemühungen, das Eisen hierbei durch andere ähnlich wirkende Metalle zu ersetzen. — Andererseits erzielte *Simon* an Samen durch Vorbehandlung mit Eisen- und Uransalzen eine Keimungsförderung im Lichte, die sich am leichtesten aus der photokatalytischen Beschleunigung der hydrolytischen Spaltung der Reservestoffe des Samens erklären läßt. Hingegen vermochten in Versuchen *K. Noacks* Eisen- und Mangansalze allein weder die Oxydation extrahierter pflanzlicher Chromogene zu beschleunigen, noch am lebenden Protoplasma photokatalytische Wirkungen hervorzu-rufen. — Die durch Metallsalze bewirkten und nur bei Gegenwart von Luftsauerstoff eintretenden Photokatalysen faßt *Neuberg* als Übertragungskatalysen auf; er bringt ihren Mechanismus in Zusammenhang mit der Eigentümlichkeit der hierzu geeigneten Metalle, in der Oxyd- und Oxydulstufe aufzutreten. Die Oxydstufe wird vom Substrat bei Belichtung zu Oxydul reduziert, der dabei frei werdende Sauerstoff kann in ihm sehr verschiedenartige Oxydationen und Spaltungen hervorrufen, der zu Oxydul reduzierte Katalysator wird durch den Luftsauerstoff wieder zur Oxydstufe oxydiert.

1873 hat uns *H. W. Vogel* mit der optischen Sensibilisierung von Silbersalzen durch beigemengte Farbstoffe bekanntgemacht, eine Entdeckung, die von großer Bedeutung für die Entwicklung der Farbenphotographie<sup>1)</sup> geworden ist. *Becquerel* hat dann gezeigt, daß Silber auch unter dem Einflusse der langwelligen roten Strahlen ausgeschieden wird, wenn dem Silberchlorid Chlorophyll beigemischt worden ist, und *Eder* erbrachte den Nachweis, daß auch verschiedenen anderen Pflanzenfarbstoffen ein Sensibilisierungsvermögen auf die photographische Platte zukommt. Noch früher hatte man die bleichende Wirkung des Lichtes auf gewisse Farbstoffe kennengelernt. Das waren aber lange Zeit hindurch die einzigen bekanntgewordenen lichtkatalytischen Vorgänge. Einen neuen Anstoß erhielt diese Frage erst, als *Tappeiner* 1900 die „photodynamischen“ Wirkungen verschiedener fluoreszierender Stoffe und Farbstoffe auf Organismen beschrieb. Die Ähnlichkeit derselben mit den optischen Sensibilisatoren war in die Augen springend. Man fand denn auch, daß die photochemische Oxydation des Jodwasserstoffs, die Reaktion zwischen Quecksilberchlorid und Ammoniumoxalat, das Unlöslichwerden von Chromat-Gelatine-Gemischen durch fluoreszierende

Stoffe im Lichte beschleunigt wird, daß Substanzen wie Benzylalkohol, Pyrogallol, Salicylaldehyd,  $\alpha$ -Naphthol, Ferrosulfat, Natriumsulfit, metallisches Silber, bei Anwesenheit von Eosin am Lichte oxydiert werden, daß Anthracenderivate bei Bestrahlung auf verschiedene chemische Spaltungen wirksam sind ganz ebenso wie metallische Lichtkatalysatoren (*Neuberg-Galambo*s). Andererseits aber erwies sich die große Zahl anderer photodynamisch wirkender Substanzen ohne Effekt auf solche chemische Umsetzungen, die sich sonst leicht durch mineralische Photokatalysatoren bewerkstelligen lassen, auch sehr gewöhnliche photochemische Reaktionen blieben durch sie unbeeinflusst. Warum dem so ist, wissen wir heute noch nicht. Weiterer Aufklärung bedarf auch die Angelegenheit, weshalb einzelne Farbstoffe als optische Sensibilisatoren sich eignen, andere wieder nicht, was für eine Bedeutung dem Fluoreszenzvermögen der Stoffe bei diesen Prozessen zukommt; die *Bohrsche* Theorie gestattet allerdings, bereits an einen Zusammenhang zwischen Absorption, Fluoreszenz und chemischer Reaktionsfähigkeit dieser Substanzen zu denken; die große Wirksamkeit der fluoreszierenden Substanzen beruht vielleicht gerade auf ihrem mit der Aussendung von Fluoreszenzlicht verknüpften Vermögen, leicht in den ursprünglichen durch Belichtung zu chemischer Reaktionsfähigkeit erregbaren Zustand zurückzufallen. Zur Aufhellung des Chemismus der photokatalytischen Wirkung solcher Stoffe wurde mit Erfolg ihre Neigung, den Luftsauerstoff in peroxydischer, chemisch aktiverer Form anzulagern, herangezogen.

Eine interessante Regel hat sich auch bereits bei einer ganzen Reihe von lichtkatalytischen Vorgängen, an denen sich organische optische Sensibilisatoren beteiligen, ergeben; sie betrifft die Abhängigkeit des Stoffumsatzes von der Farbe des einstrahlenden Lichtes. 1871 hat *Lommel* die Forderung aufgestellt, daß bei dem großartigsten aller photochemischen Prozesse, der Kohlensäureassimilation der grünen Pflanze, vornehmlich jene Strahlen des Sonnenlichtes beteiligt sein müssen, die vom Chlorophyll maximal absorbiert werden, also nach dem Stande der damaligen Kenntnisse die roten Strahlen zwischen den Fraunhoferschen Linien *B* und *C*. *Timiriaseff* hat dann 1875 im Versuch gezeigt, daß die Kurve der Kohlensäureassimilation (gemessen an der Sauerstoffausscheidung) jener der Lichtabsorption im Chlorophyll ziemlich gleich verläuft, und das Chlorophyll als optischen Sensibilisator im Sinne *H. W. Vogels* bezeichnet. Es folgten schließlich 1883 die genialen Versuche *Th. W. Engelmanns*, der diese an verschieden gefärbten, Chlorophyll führenden Pflanzen erkannte, proportionale Beziehung zwischen Assimilation und Absorption in die Formel  $E_{\text{abs}} = E_{\text{ass}}$  kleidete; „das Verhältnis der in Form von Licht verschwindenden Energiemenge ( $E_{\text{abs}}$ ) zur produ-

<sup>1)</sup> Diese Ztschr. 9 (1921), 785.



zierten potentiellen chemischen Energie ( $E_{\text{ass}}$ )“ ist für alle Wellenlängen das nämliche. Im folgenden sollen nun jene Lichtreaktionen in der Pflanze und an pflanzlichen Farbstoffen besprochen werden, in denen das Absorptionsvermögen des Photokatalysators zur Größe des Stoffumsatzes in den verschiedenen Wellenlängen proportional ist.

#### *Autosensibilisierung pflanzlicher Farbstoffe.*

Zunächst sei die autophotokatalytische Bildung verschiedener Pflanzenfarbstoffe besprochen, die ein bemerkenswertes Analogon in der Entstehung der Farbstoffe der Triphenylmethangruppe aus ihren Leukobasen hat. O. Gros fand, daß die Geschwindigkeit, mit der sich die Oxydation der Leukobase des Fluoreszeins zum Farbstoff bei Sauerstoffzutritt im Dunkeln vollzieht, durch Licht stark erhöht wird; für diese Reaktionsbeschleunigung wird nicht nur die von der Leukobase selbst, sondern auch von dem sich bildenden Farbstoff absorbierte Lichtenergie verwendet. Das entstehende Fluoreszein photokatalysiert seine eigene Bildung und könnte daher gleichfalls als Autosensibilisator oder Autophotokatalysator bezeichnet werden. Das Fluoreszein ist ein kräftig fluoreszierender Farbstoff, dessen Peroxyd den sonst trägen Luftsauerstoff im Lichte auf die Leukobase übertragen kann.

Die große Bedeutung des Lichtes für die Entstehung des wichtigsten Pflanzenfarbstoffes, des *Chlorophylls*, ist allbekannt. So gut wir heute über die Chemie des Chlorophylls unterrichtet sind, so wenig wissen wir von der chemischen Natur seiner Vorstufen. Die von Sachs als Leukophyll bezeichnete Vorstufe setzt sich nach Liro auch bei Sauerstoffabschluß und nur im Lichte rasch in Chlorophyll um zu ihrer Bildung aber ist der Zutritt von freiem Sauerstoff erforderlich. Wir können sonach das Leukophyll nicht ohne weiteres mit der Leukobase des Fluoreszeins analogisieren, eher eine Vorstufe desselben. Für die Zuordnung der Chlorophyllbildung in der Pflanze zu den Photokatalysen ist es bedeutungsvoll, daß es nicht wenige Pflanzen gibt, die im Dunkeln ergrünen können; aber auch da fördert Belichtung die Anhäufung des Chlorophylls. Das entstehende Chlorophyll dürfte ähnlich wie das Fluoreszein die zu seiner Bildung führenden Prozesse im Lichte katalysieren, wie A. Schmidt in seinen Untersuchungen über die Abhängigkeit der Chlorophyllbildung von der Wellenlänge des einfallenden Lichtes auseinandersetzt. Seine Ergebnisse lassen erkennen, daß sich die Wirksamkeit der verschiedenen Wellenlängen ungefähr parallel zu ihrer Absorption in dem sich bildenden Farbstoff bewegt.

Untersuchungen des Verf. zeigen, daß sich die über die Chlorophyllbildung gemachten Erfahrungen auch auf gewisse Begleitpigmente des Chlorophylls ausdehnen lassen, die in Schizophy-

ceen und Rhodophyceen auftreten, die Färbung dieser Algen in erster Linie bestimmen und als wasserlösliche, eiweißartige Farbstoffe von *Kylin Phykochromoproteide* benannt wurden. In 22 untersuchten Spaltalgenarten fand Verf. nur zwei durch ihre Farbe, ihre Fluoreszenz und ihr Absorptionsspektrum vornehmlich sich unterscheidende Phykochromoproteide, einen blauen, karminrot fluoreszierenden Farbstoff, dessen einziges Absorptionsmaximum im Rot zwischen  $\lambda$  625 und 615  $\mu$  liegt — *blaugrünes Phykocyan (Kylin)* — und einen neuen, roten Farbstoff mit orangegelber Fluoreszenz und gleichfalls nur einem Absorptionsmaximum im Grün bei ca.  $\lambda$  550 — *Schizophyceenphykoerythrin (= Spaltalgenrot)*. Neben Chlorophyll und gelben Pigmenten besitzen manche Spaltalgen nur das blaugrüne Phykocyan und sind daher spangrün gefärbt, andere mehr oder weniger rötlich gefärbte führen fast oder ganz ausschließlich Phykoerythrin, in einer dritten Gruppe endlich treten beide Phykochromoproteide, allerdings in wechselndem Mengenverhältnis auf, und die Färbung dieser Spaltalgen nähert sich dann je nach der Vorherrschaft des Phykocyans oder Phykoerythrins dem Kolorit einer der vorerwähnten beiden Gruppen.

Wie bei den meisten höheren Pflanzen die Ausbildung des Chlorophylls durch Lichtentzug (Etiement) oder durch Eisenmangel (Eisenchlorose) verhindert werden kann, so bauen die meisten Schizophyceen bei Erschöpfung der Stickstoffquelle in ihrer Nährlösung das Chlorophyll und die es begleitenden Phykochromoproteide bis auf Spuren ab. Die schließlich fast allein zurückbleibenden gelben Pigmente verleihen dann den Algen in diesem Zustande der *Stickstoffchlorose* eine gold- bis braungelbe Färbung. Bei Darreichung geeigneter Stickstoffverbindungen und Sauerstoffzutritt bilden sich die abgebauten Farbstoffe im Dunkeln nur langsam und unvollständig zurück, im Lichte aber erfährt die Farbstoffregeneration eine photokatalytische Beschleunigung, die N-Chlorose wird rasch und vollkommen behoben. Auch die Leukokörper der Phykochromoproteide sind vorläufig unbekannt, die Notwendigkeit des Luftsauerstoffes zu ihrer Ausbildung legt aber auch hier die Anteilnahme von Oxydationsvorgängen nahe.

Um die Bildung der Phykochromoproteide in ihrer Abhängigkeit von der Wellenlänge des einstrahlenden Lichtes zu studieren, wurde als Versuchssubjekt *Phormidium laminosum* Gom. var. *olivaceo-fusca*, eine Spaltalge, die sowohl das blaugrüne Phykocyan als auch das neue Phykoerythrin führt, herangezogen; im Zustande der N-Chlorose wurde sie nach Versetzung mit  $\text{KNO}_3$  als N-Quelle dem spektral zerlegten Licht einer Nernstlampe ausgesetzt. Nach kurzer Zeit nahm die Alge im roten Spektralbereiche eine blaugrüne, im grünen eine mehr oder weniger rote Färbung an, in jenem bildete sich vornehmlich das Phykocyan, in diesem das Phykoerythrin zu-

rück; in den blauen und violetten Strahlen des Spektrums und ebenso im Dunkeln behielt die Alge denselben chlorotischen, braungelben Farbenton wie zu Beginn des Versuches, die Regeneration der verlorenen Farbstoffe trat hier nicht in Erscheinung. Die Grenze zwischen den beiden Umfärbungen im Rot und Grün war scharf ausgebildet und lag im Gelb bei  $\lambda$  595  $\mu$  genau an der Stelle des Absorptionsminimums eines Phykocyan-Phykoerythrin-Gemisches, wie man es aus der normalgefärbten Alge gewinnen kann. Für die Art der Pigmentrückbildung ist also die Absorption der Spektralstrahlen in den spurenweise auch in der N-chlorotischen Alge vorkommenden Farbstoffen maßgebend, und der Unterschied von vielleicht nur einer Wellenlänge im einfallenden Licht bestimmt die Ausbildung jenes Phykochromoproteids, in dessen Absorptionsbereich das bestrahlende Licht hinüberspielt. Die anfänglich nur in Spuren vorhandenen Farbstoffe wirken dabei als Autosensibilisatoren.

Diese an N-chlorotischen Kulturen des genannten Phormidium gewonnenen Erfahrungen sind der Schlüssel zum Verständnis der an gewissen Spaltalgen zu beobachtenden Fähigkeit, eine zur Farbe des einfallenden Lichtes komplementäre Färbung anzunehmen (*komplementäre chromatische Adaptation* — *Gaidukov*). Wie im Zustande der N-Chlorose erfährt auch in der normal gefärbten, adaptationsfähigen Alge das Phykocyan im roten, das Phykoerythrin im grünen Lichte eine besonders starke Vermehrung, und weil diese Phykochromoproteide in erster Linie für die Gesamtfärbung der Alge verantwortlich sind, wird sie bei roter Beleuchtung blaugrün, bei grüner Braun- bis rotviolett, nimmt also ein zur Lichtfarbe ungefähr komplementäres Kolorit an. Das *Gaidukov*-sche Phänomen ist demnach mit der Farbstoffbildung in chlorotischen Rasen wesensverwandt und beruht auf der autophotokatalytischen Wirkung der Farbstoffe.

Die Bildung der Phykochromoproteide in Schizophyceen ist stets mit der des Chlorophylls gekoppelt, und es ist nicht unmöglich, daß sich diese Farbstoffe gegenseitig in ihrer Entstehung photokatalysieren. *Gros* fand, daß die Lichtempfindlichkeit der Leukobase des Fluoreszeins auch durch zugesetzte, fremde Farbstoffe gesteigert wird. Ob die Chlorophyllbildung desgleichen durch fremde optische Sensibilisatoren beschleunigt werden kann, ist noch nicht untersucht worden. Mit der Photokatalyse der Oxydation von Atmungschromogenen aus *Vicia Faba* und *Aloe soccotrina* zu den zugehörigen Farbstoffen in Gegenwart zugesetzter fluoreszierender Farbstoffe wie Eosin, Methylenblau und bei Sauerstoffzutritt hat uns *Kurt Noack*<sup>1)</sup> bekanntgemacht. Die fluoreszierenden Farbstoffe wirken dabei als Lichtkatalysatoren durch peroxydische Anlage-

rung des Luftsauerstoffes und können daher mit den Oxygenasen bei vitalen Oxydationen verglichen werden. Ihre oxydierende Wirkung im Lichte kann durch metallische Katalysatoren beschleunigt werden. Die aus den Chromogenen entstehenden Farbstoffe selbst vermögen hingegen ihre eigene Bildung nicht oder kaum zu sensibilisieren, sie fluoreszieren auch nicht und entstehen durch Dehydrierung aus den Chromogenen.

#### *Photolysen pflanzlicher Farbstoffe.*

Viele Farbstoffe werden im Lichte und bei Sauerstoffzutritt gebleicht. Man faßt die dabei sich abspielenden chemischen Prozesse als Autoxydationen auf. Der Luftsauerstoff könnte auch hier durch peroxydische Bindung eine größere chemische Aktivität erlangen, so daß sich der Farbstoff selbst im Lichte unter gleichzeitiger Reduktion des photokatalytisch wirkenden Farbstoffperoxydes oxydiert. Während bei der vorbesprochenen Bildung von Farbstoffen das Pigment seine eigene Entstehung katalysiert, arbeitet es in diesen Fällen auf seine Zerstörung hin. Auch im photochemischen Bleichprozeß können selbstverständlich nur jene Lichtstrahlen wirken, die von dem Farbstoff absorbiert werden, und es zeigte sich vielfach auch hier wiederum, daß die Bleichung in jenen Spektralbezirken am raschesten erfolgt, die vom Farbstoff am stärksten absorbiert werden; so wird z. B. das Eosin am schnellsten durch die grünen von ihm absorbierten Lichtstrahlen zerstört.

Die in früheren Zeiten fast ausschließliche Verwendung vegetabilischer Farbstoffe brachte es mit sich, daß man gerade unter ihnen die ersten lichtunechten Farbstoffe kennenlernte. Schon *A. Vogel* (1813) und *Herschel* (1844) haben das Ausbleichen verschiedener pflanzlicher Farbstoffextrakte beschrieben; dieser fand auch, daß einige Blütenfarbstoffe vornehmlich durch die zu ihrer Farbe komplementären Strahlen gebleicht werden. Die bräunliche Verfärbung grüner alkoholischer Blattauszüge im Lichte war schon *Senecier* bekannt; sowohl die grünen, als auch die gelben in solchen Extrakten enthaltenen Farbstoffe werden durch das Licht entfärbt. *Reinke*, der die Abhängigkeit der Zerstörung des Chlorophylls von der Farbe des einstrahlenden Lichtes untersuchte, fand, daß die Photolyse des Chlorophylls durch die Sonnenstrahlen nach Maßgabe seines Absorptionsvermögens für sie erfolgt; die roten und blauvioletten Strahlen, die im Chlorophyll eine starke Absorption erleiden, bleichen es am raschesten, die grünen, die von ihm am leichtesten durchgelassen werden, am langsamsten.

Die photolytische Zerstörung des Chlorophylls in der lebenden grünen Pflanze ist nicht so leicht wie in Lösungen zu bewerkstelligen. Warum dem so ist, läßt sich heute nicht eindeutig beantworten, für die größere Lichtbeständigkeit des „lebenden Chlorophylls“ wurden verschiedene

<sup>1)</sup> Diese Ztschr. 9 (1921), 286.



Erklärungsversuche unternommen. Hier bei nur darauf hingewiesen, daß bei dem oxydativen Charakter der Chlorophyllbleichung auch zu erwägen wäre, ob nicht die gleichzeitig im Chlorophyllkorn wirkenden reduzierenden Stoffe diesen oxydativen Vorgängen entgegenarbeiten könnten.

Nach *Iwanowski* sollen die gelben, nicht fluoreszierenden Begleitfarbstoffe des Chlorophylls dieses vor der Zerstörung durch intensives Licht schützen. Wenn aber neben Chlorophyll noch andere fluoreszierende Farbstoffe wie in Spalt- und Rotalgen auftreten, könnte es sehr wohl zu einer gegenseitigen optischen Sensibilisierung der Photolyse der nebeneinander vorkommenden Farbstoffe kommen, ähnlich wie in den Versuchen von *Geiger* und *Gros* mit Gemischen künstlicher Farbstoffe. Dadurch wäre das im Gegensatz zu den lichtfesten grünen Pflanzen sehr rasche Ausbleichen dieser Algen im Sonnenlichte verständlich. Bei Bestrahlung solcher Algen mit einfarbigem Licht genügender Intensität könnte aber auch wie im Ausbleichverfahren der Farbenphotographie<sup>2)</sup> unter den lichtempfindlichen grünen, blauen und roten Farbstoffen dieser Algen eine Art Farbensanalyse erzielt werden, die auf der rascheren Zerstörung der zur Lichtfarbe komplementären Farbstoffe beruht und so das gerade Gegenteil des bei der „komplementären chromatischen Adaptation“ auftretenden Farbenwechsels wäre.

#### Die Kohlensäureassimilation der grünen Pflanze.

Wenden wir uns nun dem wichtigsten aller photochemischen Prozesse auf unserer Erde, der Kohlensäureassimilation, zu. Dieser mit der Aufnahme von Kohlensäure beginnende und mit der schließlichen Bildung von Sacchariden endigende Prozeß schließt eine große Zahl von Einzelreaktionen in sich ein, die nur zum Teil selbst lichtempfindlich sind. In seiner Gänze betrachtet läuft er auf eine Reduktion der Kohlensäure, also auf einen, gegen die chemischen Kräfte gerichteten, endothermen Prozeß hinaus, dessen treibende Kraft die Lichtennergie ist. Der Versuch, die Kohlensäureassimilation einfach als photokatalytischen Vorgang zu erklären, erheischt daher Vorsicht. Trotzdem ist es bei der komplexen Natur derselben möglich, daß das Chlorophyll als fluoreszierender Farbstoff die Rolle eines Photokatalysators in einem der vielen Teilprozesse spielt, so daß die zuerst von *Timiriazeff* ausgesprochene Auffassung des Chlorophylls als optischen Sensibilisators zu Recht bestehen kann. *Hausmann* verglich die Wirkung des Chlorophylls bei der Kohlensäureassimilation mit den photodynamischen Effekten fluoreszierender Farbstoffe. Für die lichtkatalytische Funktion des Chlorophylls ist in jüngster Zeit *K. Noack*<sup>3)</sup> eingetreten und hat darüber bestimmtere Vorstellungen entwickelt, die sich vielfach mit der War-

burgschen Auffassung des Assimilationsvorganges zur Deckung bringen lassen<sup>4)</sup>. Unberührt bleibt davon die Möglichkeit, daß das Chlorophyll auch sonst noch chemisch in diesen Prozeß eingreift. Sei dem wie immer, auch für die Photosynthese in der grünen Pflanze gilt im allgemeinen die Proportionalität zwischen Assimilationsgröße und Lichtabsorption im Chlorophyll, eine Erkenntnis, die wir den Arbeiten *Engelmans*, *Kniep* und *Minders*, *Lubimenkos*, *Meinholds* und vor allem *Ursprungs*<sup>5)</sup> zu danken haben. Die auf gleiche Intensität des einfallenden Lichtes bezogenen Assimilations- und Absorptionskurven verlaufen bei spaltöffnungsfreien Wasserpflanzen (Algen, Elodea) im sichtbaren Spektrum von seinem langwelligen Ende bis in den blauvioletten Bezirk parallel, bei Spaltöffnungen führenden Pflanzen (Blätter von *Phaseolus* in den Versuchen *Ursprungs*) ergab sich eine vollkommene Deckung beider Kurven bis in die Gegend der Fraunhoferschen Linie *E*, von da ab gehen sie auseinander; diese Diskrepanz wie auch eine Unstimmigkeit des Kurvenverlaufes im Ultrarot führt *Ursprung* auf ein sekundäres Moment (Kohlensäuremangel infolge des durch die stark brechbaren und die ultraroten Strahlen bewirkten Spaltenschlusses) zurück. Die Fassung dieser Proportionalitätsregel in Form der Engelmannschen Gleichung  $E_{\text{abs}} = E_{\text{ass}}$  kann nur für gewisse Fälle gelten und auch nur dann, wenn unter  $E_{\text{abs}}$  die vom Chlorophyll und nicht von der ganzen Pflanze absorbierte Strahlung verstanden wird.

Chlorophyll findet sich in allen zur Photosynthese befähigten Pflanzen (nur die Purpurbakterien könnten eine Ausnahme bilden). Gerade aber das Studium der Beziehung zwischen Assimilation und Lichtabsorption an Pflanzen, die außer Chlorophyll noch andere Pigmente enthalten und daher eine von Grün abweichende Färbung besitzen, brachte *Engelmann* die Erkenntnis der Proportionalität beider Größen. Wir stehen vor der Frage, ob die Begleitpigmente des Chlorophylls es in seiner Funktion bei der Photosynthese unterstützen können. Für die gelben Farbstoffe ist diese Rolle trotz ihrer weiten Verbreitung fraglich, und für das Zustandekommen des im kurzwelligen Spektralbereich mehrfach beobachteten zweiten Assimilationsmaximums genügt das hier starke Absorptionsvermögen des Chlorophylls selbst. Günstiger steht es um die Zuweisung einer solchen Funktion an die fluoreszierenden Phykochromoproteide, die Phykocyane und Phykoerythrine der Schizo- und Rhodophyceen. Die Absorptionsmaxima dieser Farbstoffe fallen gerade in die vom Chlorophyll am meisten durchgelassenen Spektralbezirke und ergänzen dadurch das Absorptionsvermögen des Chlorophylls, so daß uns das Gedeihen solcher Algen an licht-

<sup>2)</sup> Diese Ztschr. 9 (1921), 787.

<sup>3)</sup> Diese Ztschr. 9 (1921), S. 286.

<sup>4)</sup> Diese Ztschr. 9 (1921), 354 u. 397.

<sup>5)</sup> Diese Ztschr. 8 (1920), 848.

armen Orten begreiflich wird. Andererseits verstehen wir es, daß der Besitz an roten, vornehmlich die grünen und blauen Lichtstrahlen absorbierenden Phykoerythrin die Algen befähigt, in bedeutende Wassertiefen hinabzusteigen, wohin bekanntlich nur die stärker brechbaren Strahlen einzudringen vermögen. *Engelmann* fand die Lage des Assimilationsmaximums in blaugrünen Spaltalgen (*Oscillatoria*, *Nostoc*) bei  $\lambda$  622, in roten Algen (*Callithamnion*) bei  $\lambda$  572, also annähernd dort, wo die Absorptionsmaxima der Phykochromoproteide liegen (des Phycocyanins bei  $\lambda$  624—618, des Florideenrots bei  $\lambda$  569—565).

#### *Lichtreizbarkeit und Photokatalyse.*

Viele Pflanzen reagieren auf Belichtung durch Reizbewegungen. In ihren Erscheinungsformen sind die Phototaxis und der Phototropismus zureichend beschrieben; wie die Lichtreizbewegungen aber zustande kommen, darüber existieren heute nur Vermutungen. In dieser Hinsicht bedeuten die Arbeiten *Metzners*<sup>6)</sup> einen guten Schritt vorwärts; ihm ist es gelungen, Spirillen und Infusorien, also gegen sichtbare Strahlung so gut wie unempfindliche Organismen, durch Einlagerung fluoreszierender Farbstoffe und bei Sauerstoffzutritt phototaktische Reizbarkeit zu induzieren. Wir wissen bereits von diesen Farbstoffen, daß sie bei Belichtung und Anwesenheit freien Sauerstoffs als Sauerstoffüberträger verschiedene Oxydationen photokatalytisch beschleunigen; vom Standpunkt einer Arbeitshypothese erscheint daher die Ansicht plausibel, daß die belichteten Farbstoffe durch Beeinflussung der Oxydations- und Reduktionsprozesse in der Zelle in den Chemismus des Bewegungsapparates eingreifen<sup>7)</sup>. Auf die lichtreizbar gewordenen Infusorien wirken die verschiedenen Lichtstrahlen wiederum nach Maßgabe der Absorption, die sie im Farbstoff erleiden, ein, in einem lichtstarken Spektrum bilden die Infusorien durch Ansammlungen in bestimmten Bezirken das Absorptionsspektrum des in ihrem Plasma gelösten Farbstoffes ab.

Als ähnlich wirkende Photokatalysatoren dürfen wir wohl auch die diffus im Plasma gelösten natürlichen Farbstoffe der Purpurbakterien ansehen, deren Lichtreizbewegungen *Buder*<sup>8)</sup> in eleganter Weise untersucht hat. Das komplizierte Absorptionsspektrum der Purpurbakterien ergibt sich aus dem Zusammenwirken des grünen Bakteriochlorins und des roten Bakterioerythrins, wozu sich möglicherweise noch ein dritter ungefärbter Stoff mit einer Absorption im Ultrarot gesellt. In einem Spektrum von genügender Länge sparen

die Purpurbakterien im ganzen beobachteten Gebiet von  $\lambda$  590— $\lambda$  350  $\mu$  die dunklen Fraunhoferschen Linien aus, umgekehrt häufen sie sich in den hellen Linien eines Emissionsspektrums an und sammeln sich auch in jenen Spektralbezirken für die sie ein starkes Absorptionsvermögen besitzen. Alle diese Beobachtungen lassen sich einheitlich aus dem den Purpurbakterien eigentümlichen Reaktionsmodus (Schreckbewegung, Phobophototaxis) erklären, der sie daran hindert, aus einem helleren Feld in ein angrenzendes dunkleres einzudringen. Wenn wir uns mit *Buder* vorstellen, daß auch diesen Lichtreizbewegungen photochemische Vorgänge zugrunde liegen, so kommt es offenbar auf dasselbe hinaus, ob die Reaktionsgeschwindigkeit der lichtchemischen Prozesse durch Änderungen der Intensität des bestrahlenden Lichtes (Spektrallinien) oder des absorbierten Lichtes (Absorptionsspektrum der Bakterien) beeinflusst wird.

Auch die Schizophyceen, deren Farbstoffe gleichfalls im Plasma diffus verteilt sind, führen phototaktische Bewegungen aus. Die darüber angestellten Versuche (*Dangeard*, *Pieper*) reichen jedoch noch nicht aus, um eine möglicherweise vorhandene Koinzidenz des phototaktischen Effektes mit ihrem Absorptionsspektrum zu erkennen. Für die Lichtreizbewegungen der meisten<sup>9)</sup> chlorophyllführenden und -freien Pflanzen und auch für die Umlagerungen der Chloroplasten in lebenden Zellen auf Lichtreize hin (*Senn*) haben sich aber die kurzwelligen, violetten, blauen und auch grünen Lichtstrahlen als die wirksamsten erwiesen; die vom Chlorophyll absorbierten Strahlen, z. B. die roten zwischen *B* und *C*, sind hierbei ohne sichtliche Wirkung. Wir können daraus mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit schließen, daß sich die für die Lichtreizbewegungen dieser Pflanzen postulierten photochemischen Umsetzungen nicht in den vom Chlorophyll tingierten plasmatischen Organen, sondern im umgebenden, ungefärbten Protoplasma abspielen, womit das Verhalten chlorophyllfreier lichtreizbarer Pflanzen im Einklang steht. In jedem einzelnen Falle wäre die Kenntnis der Lichtabsorptionskurve in den ungefärbten Plasmakolloiden von Interesse; es ist nicht unwahrscheinlich, daß in ihnen die kurzwelligen Lichtstrahlen, die infolge der größeren Dispersion einen längeren Weg als die schwächer brechbaren Strahlen zurückzulegen haben, stärker absorbiert werden. Die Ergebnisse *Metzners* lassen es erhoffen, daß sich durch Einführung geeigneter photokatalytisch wirkender Farbstoffe in solche Zellen das Maximum der Lichtreizempfindlichkeit aus dem kurzwelligen Spektralbereich

<sup>6)</sup> Diese Ztschr. 8 (1920), 958; 9 (1921), 381.

<sup>7)</sup> In dieser Hinsicht sei auch auf die Ausführungen *Wo. Ostwalds* über den tierischen Phototropismus verwiesen (Bioch. Ztschr. 10, 1908). Auch die Befunde *Czapeks* über Änderungen im oxydativen Stoffwechsel gereizter Pflanzenorgane gewinnen dadurch neuerlich an Interesse (Jahrb. f. wiss. Bot. 43, 1906).

<sup>8)</sup> Diese Ztschr. 8 (1920), 261, 308, 850.

<sup>9)</sup> Eine interessante Ausnahme scheint das in Symbiose mit Zoochlorellen lebende Infusor *Paramecium bursaria* zu bilden, desgleichen die Chromatophoren einiger Pflanzen (*Mesocarpus*, *Chromulina*, *Neottia*, *Orobancha*).



gegen das langwellige Ende des Spektrums wird verschoben lassen.

#### *Deletäre Lichtwirkungen.*

Endlich erübrigt sich noch die Besprechung jener Lichtwirkungen auf Organismen, die sich als „Lichttod“ zusammenfassen lassen. Genügsam bekannt ist die Tatsache einer deletären Wirkung ultravioletter Strahlen auf die verschiedensten Organismen, auch auf Pflanzen (*Kluyver, Ursprung und Blum*). *Hertel* brachte sie in Zusammenhang mit der hohen Absorption dieser Strahlen im Plasma, dessen Absorptionsvermögen und daher auch seine Lichtempfindlichkeit mit zunehmender Wellenlänge abnimmt. Die chemischen Umsetzungen aber, die durch die ultraviolette Strahlung im Plasma hervorgerufen werden, lassen sich heute nur vermuten. Unter anderem könnte man an eine das Lebensgetriebe störende Beschleunigung von Spaltungen und Oxydationsprozessen durch das ultraviolette Licht denken, die durch bestimmte fluoreszierende Farbstoffe auch für Licht größerer Wellenlänge photokatalysiert werden könnten, so daß sich dann auch im sichtbaren Lichte der Lichttod einstellt. Bei diesen photodynamischen Wirkungen sind wiederum nur jene Lichtstrahlen wirksam, die von dem ins Plasma eingedrungenen Farbstoff absorbiert werden; das zeigen besonders instruktiv die Versuche *Metzners* mit *Paramaecien* im Starklichtspektrum. Die photodynamischen Wirkungen an pflanzlichen Objekten hat besonders *Gicklhorn* studiert. Durch ultraviolettes Licht können Enzyme und Toxine inaktiviert, Eiweißstoffe gefällt werden; auch diese Vorgänge werden durch fluoreszierende Farbstoffe photokatalysiert (*Schanz*).

#### *Die Proportionalitätsregel.*

Wir sehen somit in einer ganzen Reihe von pflanzlichen Lichtreaktionen, an denen als Photokatalysator ein lichtabsorbierender Farbstoff beteiligt ist, die Regel bestätigt, daß für die verschiedenen Wellenlängen Proportionalität zwischen Lichtwirkung und Lichtabsorption besteht. Sie gilt auch für einige oft untersuchte photochemische Umsetzungen, so für die optische Sensibilisierung photographischer Platten, auf denen man nach *Eder* aus den Sensibilisierungsspektren vieler Farbstoffe, z. B. Eosin, Chlorophyll, die Koinzidenz der Schwärzung mit der Lage der Absorptionsstreifen des Farbstoffes feststellen kann, für das Ausbleichen von Farbstoffen und die Oxydation der Leukobasen der Fluoresceinfarbstoffe im Lichte. In andern Fällen aber (Oxydation des Chinins durch Chromsäure, photolytische Zersetzung des Jodoforms) ließ sie sich nicht bestätigen. Auch muß die umgesetzte Stoffmenge in einem lichtempfindlichen System nicht der von ihm absorbierten Gesamtstrahlung proportional sein; die tiefblaue Fehllingsche Lösung z. B. scheidet im Lichte nur unter dem Einflusse der von der Weinsäure absorbierten, ultra-

violetten Strahlen Kupferoxydul aus. So selbstverständlich uns heute das *Grotthus-Draper*sche Absorptionsgesetz als Vorläufer des viel allgemeineren Gesetzes von der Erhaltung der Energie anmutet, daß nur das absorbierte Licht photochemische Arbeit verrichten kann, so wenig erscheint uns die in Frage stehende Regel als eine Denknöwendigkeit. Denn die absorbierte Strahlung wirkt nicht nur chemisch, sondern auch thermisch, und die photochemische Ausbeute, also der chemisch wirkende Bruchteil der absorbierten Gesamtstrahlung muß nicht für alle Wellenlängen gleich sein. Machen wir die Menge des absorbierten Lichtes für alle Wellenlängen gleich, so müßte nach der Proportionalitätsregel auch der Stoffumsatz gleich sein, d. h. bei gleich großer absorbierter Lichtmenge wäre der Stoffumsatz gleich und unabhängig von der Wellenlänge. Das steht aber im Widerspruch mit dem *Einsteinschen* Äquivalenzgesetz:

$$p = \frac{\lambda}{28\,400} \frac{\text{Mol}}{\text{cal}}$$

nach dem der auf gleiche absorbierte Strahlung bezogene Stoffumsatz  $p$  proportional der Wellenlänge ist<sup>10</sup>). Wir dürfen jedoch nicht vergessen, daß all die besprochenen Versuchsergebnisse nur Annäherungen an die Proportionalitätsregel bedeuten, deren strenge Gültigkeit noch in keinem einzigen Falle mit genügender Exaktheit sichergestellt wurde. Es ist möglich, daß die gleichfalls aus den *Einsteinschen* Gesetzen sich ergebende Proportionalität zwischen umgewandelter Stoffmenge und der wirkenden im Substrat absorbierten Lichtmenge die bei Bezug auf gleiche absorbierte Strahlung geltende Proportionalität zwischen Stoffumsatz und Wellenlänge des wirksamen Lichtes verdeckt, sofern sich die Verifikation der letztgenannten Beziehung für photochemische Reaktionen in der Pflanze überhaupt erhoffen läßt. Für eine experimentelle Bestätigung der *Einsteinschen* Gesetze an photochemischen Reaktionen in der Pflanze wäre zunächst eine genaue Kenntnis der Lichtabsorption in dem betreffenden photosensiblen Substrat erforderlich; am zweckdienlichsten wäre es dann, die Größe des Stoffumsatzes bei gleicher Absorption möglichst entfernter Wellenlängen zu kontrollieren. Brauchbare Untersuchungen dieser Art sind aber bisher nicht ausgeführt worden. Eine offenkundig mit der Wellenlänge zunehmende Lichtwirkung fand *Nothmann-Zuckerkancl* in der Erregung der Protoplasmaströmung durch verschiedene Spektralbezirke. Zwar wurde auch in diesen Versuchen nur auf die Gleichheit der einfallenden Lichtintensität geachtet; weil aber dieser Effekt vom Chlorophyllgehalt der Pflanzenzelle unabhängig ist, mag die ihm zugrundeliegende Lichtwirkung in den ungefärbten Plasmakolloiden lokalisiert sein, deren Absorp-

<sup>10</sup>) Diese Ztschr. 9 (1921), 583, und *Gerlach*, siehe Literaturverz.

tionsvermögen eher für die kurzwelligen Strahlen ein größeres als für die langwelligen sein dürfte. So könnte dieses Resultat vielleicht als eine Bestätigung des Einsteinschen Äquivalenzgesetzes auf photobiologischem Gebiete gewertet werden; dann aber müßte die photische Erregung der Plasmaströmung doch kein so komplexer Prozeß sein, als man anzunehmen heute geneigt ist.

#### *Photodynamische Wirkungen und reduzierende Stoffe.*

Wie in der Photochemie des Leblosen hängt auch im Organismus der Erfolg und Ausfall lichtchemischer Reaktionen vor allem von der chemischen Natur und Zusammensetzung des Substrates ab. Von den hier erörterten Lichtreaktionen läßt sich allgemein aussagen, daß sie irgendwie in den oxydativen Stoffwechsel der Pflanzenzelle hineinspielen. Wenn die belichteten fluoreszierenden Stoffe nach Art von Peroxyden den aktivierten Luftsauerstoff auf das Substrat übertragen und so in ihm gewisse Oxydationen beschleunigen, dann könnten sie durch gleichzeitig vorhandene reduzierende Mittel daran gehindert werden. In der Tat vermochten *Sacharoff-Sachs* die durch photodynamische Substanzen erzielbare Hämolyse, *K. Noack* die Schädigung von Paramaecien durch belichtetes Eosin und bei Zutritt von Sauerstoff mittels des reduzierenden Natriumsulfits zu hemmen. Nach *K. Noack* soll auch die reduzierende peroxydische Form der Kohlensäure eine Schädigung der Chloroplasten durch belichtetes Chlorophyll, das ja selbst photodynamische, deletäre Wirkungen im Chloroplasten entfalten müßte, verhindern. Lebende Chlorophyllkörner sind überdies, wie *Molisch* jüngst gezeigt hat, der Sitz kräftiger Reduktionswirkungen auf Silbersalze. Wiederholt wurde nun festgestellt, daß chlorophyllführende Zellen gegen photodynamische Wirkungen (*Gicklhorn*, *Prát*, *Metzner*), auch gegen ultraviolettes Licht (*Hertel*, *Ursprung-Blum*) meist resistenter sind als chlorophyllfreie, und zu erklären versucht. Hier sei nur auf die Möglichkeit eines Antagonismus gleichzeitig anwesender reduzierender Stoffe in grünen Zellen verwiesen. Wenn ein solcher Antagonismus besteht, dann ist zu erwarten, daß Organismen oder Organe, die kräftige Reduktionswirkungen entfalten, dem schädigenden Einflusse photodynamischer Stoffe besser widerstehen können, z. B. die Hefe, wohl auch verschiedene Fadenpilze und Bakterien, deren relativ geringe Empfindlichkeit gegen solche Substanzen festgestellt worden ist. In diesem Zusammenhange mag es als kein Zufall erscheinen, daß nitratreduzierende Bakterien wie *Bacillus fluorescens* oder *pyocyaneus* fluoreszierende Farbstoffe erzeugen können, die zwar auf Paramaecien, nicht aber auf die sie produzierenden Bakterien kräftige photodynamische Wirkungen ausüben.

Dezember 1921.

#### *Literatur.*

- Becquerel*, Compt. rend. 79 (1874), 185. — *Boresch*, Ztsch. f. Bot. 13 (1921), 66; Bioch. Ztsch. 119 (1921), 167; Arch. f. Prot. Kde. 44 (1922), 1. — *Büder*, Jahrb. f. wiss. Bot. 58 (1919), 525. — *Czapek*, Ber. Deutsch. Bot. Ges. 20 (1902), 464; 21 (1903), 229, 243; Biochemie d. Pflzn. — *Dangeard*, Compt. rend. 152 (1911), 967; Bull. soc. bot. France 57 (1910), s. 4, X, 315. — *Eder*, Photochemie 1906; Wien. Akad. IIa 124 (1915), 1061. — *Engelmann*, Bot. Zeitg. 41 (1883), 1; 42 (1884), 81. — *Gaidukov*, Scripta bot. hort. Petrop. 22 (1903). — *Geiger* zitiert bei *Gros*. — *Gerlach*, H. 58 der Sammlg. Vieweg 1921. — *Gicklhorn*, Wien. Akad. I 123 (1914), 1221. — *Gros*, Z. f. physik. Chem. 37 (1901), 156. — *Hausmann*, Jahrb. f. wiss. Bot. 46 (1909), 599. — *Hertel*, Ztsch. f. allg. Physiol. 4 (1904), 1; 5 (1905), 95. — *Iwanowski*, Ber. Deutsch. Bot. Ges. 31 (1913), 600; 613; 32 (1914), 433. — *Kluyver*, Sitzber. d. Wiener Akad. 120 I (1911), 1137. — *Kniep-Minder*, Ztsch. f. Bot. 1909, 619. — *Liro*, Ann. Acad. scient. fennicae 1908 Ser. A, t. I, 1. — *Lommel*, Pogg. Ann. 143, 568. — *Lubimenko*, Rev. gén. Bot. 23 (1911), 1. — *Meinhold*, Cohns Beitr. z. Biol. d. Pflzn. 10 (1911), 351. — *Metzner*, Biochem. Ztsch. 101 (1919), 33; 113 (1921), 145. — *Molisch*, Wien. Akad. I 127 (1918). — *Neuburg-Galambos*, Bioch. Ztsch. 61 (1914), 315. — *Nothmann-Zuckerlandl*, Ber. Deutsch. Bot. Ges. 33 (1915), 301. — *Noack*, Kurt, Ztsch. f. Bot. 12 (1920), 273. — *Oltmanns*, ebenda 9 (1917), 257. — *Ostwald*, Wo., Bioch. Ztsch. 10 (1908). — *Picper*, Phototaxis d. Oscillarien, Diss. Berlin 1915. — *Prát*, Lék. Rozhl. (1917); Biol. Listy 6 (1918), 163; Ref. Centrbl. f. Bioch. u. Biophys. 20 (1919), 94. — *Reinke*, Bot. Zeitg. 43 (1885), 65; Ber. Deutsch. Bot. Ges. 1 (1883), 405. — *Sacharoff-Sachs*, Münch. mediz. Wochschr. Nr. 7 (1905). — *Sachs*, Sitzber. Wien. Akad. 37 (1859), 1453. — *Schanz*, Biolog. Centrbl. 38 (1918), 283. — *Schmidt*, A., Cohns Beitr. z. Biol. d. Pflzn. 12 (1914), 269. — *Senn*, Pflanzenchromatophoren, Leipzig 1908. — *Simon*, Bioch. Ztsch. 48 (1913), 410. — *Stern*, K., Ztsch. f. Bot. 13 (1921), 193. — *Straub*, Münch. med. Wochschr. Nr. 25, 1904. — *v. Tappeiner*, Erg. d. Physiol. 8 (1919), 698; Münch. med. Wochschr. 1904, 1096. — *Timiriazeff*, Ref. Justs Bot. Jahresber. 1875, 779; Compt. rend. 102 (1886), 686. — *Ursprung*, Ber. Deutsch. Bot. Ges. 35 (1917), 44; 36 (1918), 73, 86. — *Ursprung u. Blum*, ebenda 35 (1917), 385. — *Vogel*, Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. 1873, 1305. — *Weigert*, Photochemie im Handwörterbuch d. Naturw. 7 (1912).

### Wie wir rechts- und linksäugige Eindrücke unterscheiden.

Von H. Köllner, Würzburg.

Die Fähigkeit zu unterscheiden, ob ein Objekt, das wir fixieren, mit dem rechten oder dem linken Auge gesehen wird, mag dem Laien als etwas Selbstverständliches erscheinen, und ebenso auch dem Naturforscher, welcher sich mit der Phylogenese der Sinnesorgane vertraut gemacht hat. Befinden sich doch bei den meisten niederen Tieren die Augen an der Seite des Körpers, und die sinnliche Unterscheidung ihrer Eindrücke ist bei ihnen unzweifelhaft das Haupterfordernis für die räumliche Orientierung.

Wer dagegen die Grundlagen der physiologischen Optik kennt, der weiß, wie innig die funktionelle Verknüpfung unserer Augen geworden ist, wie sie zu einem Einheitsorgan verschmolzen sind, soweit, daß man das Sehen mit den beiden



Augen mit dem eines imaginären Cyklopenauges verglichen hat. Es wird umgekehrt die Unterscheidbarkeit rechts- und linksäugiger Eindrücke zunächst für unmöglich halten, wenn anders die Verschmelzung der von beiden Augen übermittelten Empfindungen eine vollkommene ist.

Die Beobachtungen, welche über die Frage angestellt worden sind, und von jedem ohne besondere Hilfsmittel leicht wiederholt werden können, zeigen, daß beide bis zu einem gewissen Grade Recht haben: unter bestimmten Beobachtungsbedingungen ist die Unterscheidung rechts- und linksäugiger Eindrücke in der Tat unmöglich, unter anderen Verhältnissen gelingt sie dagegen mit ziemlicher Sicherheit.

Bietet man z. B. in einem Stereoskop den beiden Augen eine ähnliche, aber etwas verschiedene Zeichnung dar. und läßt beide in üblicher Weise zu einem Sammelbilde verschmelzen, so ist es in der Tat unmöglich anzugeben, welche Teile des Bildes dem rechten, welche dem linken Auge zugeordnet sind. In diesem Falle haftet also den Eindrücken beider Augen eine sinnliche Unterscheidung zweifellos nicht an. Das gleiche negative Ergebnis erhält man, wenn man z. B. mit jedem Auge durch je eine vorgehaltene Röhre blickt, so, daß die beiden Röhrenöffnungen zu einem Sammelbilde verschmelzen, und nun vor die eine Öffnung einen Stab hält. Auch hier vermag man nicht anzugeben, vor welchem Auge der Stab sich befindet.

Läßt man aber z. B. in einem dunklen Raume nach einem hellen Punkt sehen, und verdeckt abwechselnd das rechte oder linke Auge, ohne daß der Beobachter weiß, welches gerade ausgeschaltet ist, so vermag dieser meist sehr wohl anzugeben, mit welchem Auge er den Punkt sieht (*Heine, Schön, Brückner und Brücke* u. a.).

Die Frage, welche Faktoren es sind, die hier die Unterscheidung ermöglichen, hat besonders um die Jahrhundertwende eine Reihe von Forschern beschäftigt. Während *Heine*<sup>1)</sup> eine sinnliche Unterscheidung der Eindrücke beider Augen annahm, haben andere, vor allem *Brückner* und *Brücke*<sup>2)</sup>, auf Grund ihrer Untersuchungen die Ansicht vertreten, daß nur durch gewisse Nebenumstände ein richtiges Urteil ermöglicht würde. Das Interesse, welches der Lösung des Problems entgegengebracht wurde, ist wohl berechtigt. Nicht nur muß die Entscheidung für den funktionellen Aufbau unseres Sehorgans von Bedeutung sein, es knüpft sich auch ein sehr wichtiger praktischer Gesichtspunkt daran: Bei der Simulation einseitiger Blindheit beruhen unsere hauptsächlichsten Entlarvungsmethoden darauf, dem zu Prüfenden unbemerkt das angeblich gesunde Auge vom Sehakt auszuschalten, so daß er glaubt, mit diesem zu sehen, während er in Wirklichkeit mit dem angeblich blinden allein sieht. Alle der-

artigen Proben beruhen also auf der Annahme, daß unter den bei der Untersuchung geltenden Beobachtungsbedingungen eine Unterscheidung der rechts- und linksäugigen Eindrücke eben unmöglich ist. Nun geben bei dem letztgenannten Versuch manche Versuchspersonen an, wodurch ihnen das Urteil möglich wird: sie glauben den hellen Punkt mit dem rechten Auge rechts, mit dem linken Auge links von der Medianebene, also in verschiedener Richtung zu sehen. Die Erklärung hierfür ist teilweise darin erblickt worden, daß die Gesichtslinien der beiden Augen im Dunkeln nicht genau auf den Punkt gerichtet sind, so daß dieser sich exzentrisch medianwärts von der Fovea centralis das eine Mal rechts, das andere Mal links abbildet und daß dadurch die Unterscheidung gelänge.

Allein daß dieses Moment keinen entscheidenden Einfluß haben kann, zeigt ein interessanter Versuch *Wesselys*<sup>3)</sup>: In einem Stereoskop blickt jedes Auge durch einen mit einem Loch versehenen Karton auf je ein kleines kreisförmiges Feld, dessen Helligkeit sich abtufen läßt. Beide Felder, die gleich groß sind, werden zu einem Sammelbild verschmolzen. Macht man das eine Feld nun plötzlich heller, während der Beobachter in das Stereoskop sieht, so vermögen viele meist sofort anzugeben, in welchem Auge die Aufhellung eintritt. Diese Unterscheidung gelingt sogar so gut, daß das Urteil über das Hellerwerden selbst dann noch richtig erfolgt, wenn das Feld für das betreffende Auge noch objektiv dunkler ist wie das für das andere Auge; und doch bildet sich in diesem Falle das Objekt in beiden Augen auf korrespondierenden Netzhautstellen ab.

Durch einen weiteren Versuch hat *Wessely* nachweisen können, daß ein Lichteindruck, der im Dunkeln ein Auge von der Medianlinie her trifft, auch aus einem ganz anderen Grunde dem rechten Auge von rechts, dem linken von links zu kommen scheint: Wenn man nämlich beide Augen schließen läßt und nun z. B. mit einem kleinen Spiegel von vorn her abwechselnd auf die Lider des rechten und linken Auges das Licht einer hinter dem Kopf stehenden Lampe wirft, so wird dessen Richtung viel zu weit schiefenwärts lokalisiert und daran sofort erkannt, welches Auge das belichtete ist. Hier ist es das diffuse Zerstreuungslicht im Auge, welches die Richtungstäuschung hervorruft, und in viel stärkerem Grade als bei dem Versuch mit dem hellen Punkt wird das richtige Urteil dadurch möglich, daß uns bei Belichtung des rechten Auges das Licht von rechts, bei Belichtung des linken Auges von links zu kommen scheint.

Es würde zu weit führen, alle die verschiedenen Versuchsmodifikationen zu erwähnen, welche von den Autoren angegeben worden sind. Überblickt man die Tatsachen, so zeigt sich, daß eine Unter-

<sup>1)</sup> Klin. Monatsbl. f. Augenh. 30 (2), S. 615.

<sup>2)</sup> Pflügers Archiv für die ges. Physiologie 90, S. 290, 91, S. 360, 107, S. 263 (hier auch Literatur).

<sup>3)</sup> 85. Versammlung Deutscher Naturforscher u. Ärzte, Wien 1913.

scheidung der rechts- oder linksäugigen Seheindrücke immer möglich wird, wenn die Differenz ihrer Helligkeit oder der Deutlichkeit ihrer Konturen ein gewisses Maß überschritten hat, während gleichhelle und gleichdeutliche Eindrücke, auch wenn ihre Konturen völlig abweichend sind, im allgemeinen nicht unterschieden werden können. Die früheren Autoren haben nun das Zustandekommen des richtigen Urteils auf zwei Faktoren zurückgeführt:

1. Auf die Mitbelichtung des sogen. monokularen Gesichtsfeldanteils, welches an jeder Seite dem beiden Augen gemeinschaftlichen Sehfeld angegliedert ist, durch das diffuse Zerstreuungslicht im Auge. Denn da in dem gesamten gemeinschaftlichen Sehfeld eine vollkommen gleichmäßige Verschmelzung der Eindrücke beider Augen angenommen wurde, kann natürlich nur der seitliche Restteil des Gesichtsfeldes allein in stande scheinen, die Differenzierung zwischen rechts und links zu ermöglichen. Durch seine Mitbelichtung konnte auch jene scheinbare Seitenlage eines leuchtenden Punktes herbeigeführt werden, welche den Beobachtern als Anhaltspunkt diene.

2. Auf das Auftreten eines eigentümlichen Gefühles in dem Auge, welches den undeutlichen Seheindruck erhält. Man hat dabei die Eindringliche Vorstellung, als ob das Lid herunterhänge oder sich ein Schleier vor dem Auge befände. Man kann sich hiervon jederzeit sehr schön überzeugen, wenn man abends mit einem Auge länger in ein Mikroskop gesehen, dieses durch das helle Objektfeld geblendet und so für Wahrnehmung schwacher Helligkeiten unempfindlich gemacht hat, und darauf in ein schlecht beleuchtetes Zimmer tritt. Dieses „Abblendungsgefühl“ ermöglicht uns stets ohne weiteres zu erkennen, welches Auge das geblendete bzw. schlecht sehende ist. Die Bedingungen für sein Entstehen sind besonders von *Brücke* und *Brückner* eingehend geprüft worden. Sie haben mit Recht darauf hingewiesen, daß es sich hierbei nur um ein zentral entstehendes „scheinbares Organgefühl“ handelt, bei welchem die Differenz der Seheindrücke beider Augen nur die Vorstellung erweckt, als ob das schlecht sehende Auge geschlossen sei.

Auch für die Auslösung dieses Abblendungsgefühles wurde der seitliche monokulare Gesichtsfeldteil verantwortlich gemacht, so daß nach den bisherigen Anschauungen schließlich dieser allein eigentlich immer die Entscheidung über das rechts- oder linksäugige Sehen herbeiführen sollte.

Die Verhältnisse liegen nun aber in Wirklichkeit anders.

Zunächst läßt sich hinsichtlich des Abblendungsgefühls leicht zeigen, daß es am allerwenigsten von dem peripheren monokularen Gesichtsfeldanteil ausgelöst wird, vielmehr am eindringlichsten gerade von dem mittleren Gesichtsfeld-

bezirke, also von dem beiden Augen gemeinsamen Sehfeld. Ich empfehle hierfür folgenden Versuch: Man braucht sich nur in einem dunklen Zimmer, das von zwei über Eck stehenden Fenstern durch die Vorhänge eben schwaches Licht erhält, so aufzustellen, daß das eine Fenster ausschließlich in dem seitlichen monokularen Gesichtsfeldanteil des einen Auges zu liegen kommt, das andere Fenster dagegen sich auf der Mitte beider Netzhäute abbildet. Deckt man abwechselnd dieses letztgenannte Fensterbild für das rechte oder linke Auge ab, so tritt das Abblendungsgefühl in annähernd gleicher Stärke auf jedem Auge hervor, obschon das eine dauernd peripher von dem seitlichen Fenster beleuchtet wird.

Wir müssen demnach wohl annehmen, daß auf diesem indirekten Weg in unserer Vorstellung die gesamten Seheindrücke des rechten und linken Auges eine weitgehende Trennung erfahren, obschon diese Unterscheidung den Gesichtswahrnehmungen selbst nicht anhaftet. Hierin liegt kein Widerspruch, denn auch unsere ganze Tiefenwahrnehmung setzt ja eine gewisse Selbständigkeit der rechts- und linksäugigen Eindrücke voraus, ohne daß uns diese Trennung bewußt möglich ist.

Dieses Abblendungsgefühl ist nun aber nicht nur individuell verschieden stark ausgeprägt, vor allem nimmt es oft erst mit der Zeit einen deutlichen Grad an. Und doch vermögen wir, selbst wenn wir es noch nicht spüren, oft schon momentan ein richtiges Urteil zu fällen, welches Auge sieht und welches nicht.

Für die Unterscheidungsfähigkeit muß also noch ein anderes Moment in Betracht kommen. Erfolgt die Belichtung des sehenden Auges einigermaßen intensiv, so kann ja keinem Zweifel unterliegen, daß das im Auge entstehende diffuse Zerstreuungslicht (dessen Bedeutung für das Sehen überhaupt häufig unterschätzt wird) in der Tat auch den seitlichen monokularen Gesichtsfeldanteil trifft und von dem empfindlichen dunkeladaptierten Auge auch hier noch wahrgenommen wird. Damit ist eine Unterscheidung, welches Auge das belichtete ist, natürlich sofort möglich.

Aber der monokulare Gesichtsfeldbezirk spielt durchaus nicht die entscheidende Rolle. Wie ich in den letzten Jahren zeigen konnte<sup>4)</sup>, erfolgt nämlich auch in dem beiden Augen gemeinsamen Gesichtsfeldanteil keinesfalls eine vollkommen gleichmäßige Verschmelzung der Seheindrücke beider Augen, wie man bisher anzunehmen geneigt war. Das tritt bei der Mischung binokularer Eindrücke in Erscheinung, besonders deutlich bei der binokularen Farbmischung, vor allem drückt es sich in der Lage der sog. Schrichtungen aus.

Bei einiger Übung in optischen Beobachtungen kann jeder leicht folgenden Versuch machen: man blickt mit beiden Augen gegen eine graue

<sup>4)</sup> Archiv f. Augenheilk. 76, S. 153.



Wandfläche, hält vor das rechte Auge ein rotes, vor das linke Auge ein gleichhelles blaues Glas, schließt dann für kurze Zeit die Augen und öffnet sie, während die Gläser sich davor befinden. Dann erscheint im ersten Moment die ganze rechte Sehfeldhälfte rot, die ganze linke blau, wobei der Trennungsstrich in der Medianebene ziemlich scharf mitten durch den Fixierpunkt läuft. Das Phänomen ist sehr flüchtig, denn der alsbald einsetzende Farbenwettstreit mit seinem Durcheinanderwogen von Blau und Rot im ganzen Gesichtsfeld macht ihm schnell ein Ende. Es

und Auge, wie wir sie uns objektiv gezogen denken können, der sogen. Richtungslinie, überein. Zum Beispiel führt die Sehrichtung eines Gegenstandes, den wir mit einem der beiden Augen fixieren, bekanntlich nicht nach der Fovea centralis der Netzhaut des sehenden Auges, sondern nach der Nasenwurzel, d. h. sie fällt mit der Medianebene des Körpers zusammen.

Man hat nun bisher immer angenommen, daß dieser in der Mitte zwischen beiden Augen gelegene Punkt gleichsam als Ort eines hypothetischen Cyclopenas das Zentrum für die Seh-

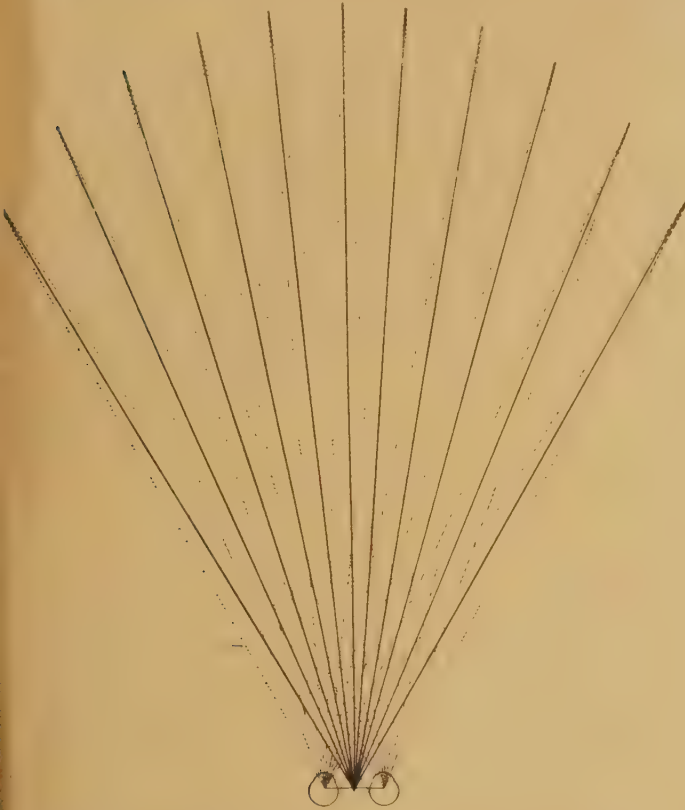


Fig. 1. Schematische Darstellung der objektiven Sehrichtungen mit dem Cyclopenauge als Zentrum. Die objektiven Richtungslinien zwischen Objektpunkt und dem Auge punktiert.



Fig. 2. Schematische Darstellung der subjektiven Sehrichtungen mit beiden Augen als Haupt-Sehrichtungszentren. Die objektiven Richtungslinien punktiert.

zeigt aber, daß in der ganzen rechten Hälfte des gemeinsamen Sehfeldes die Eindrücke des rechten Auges, in der linken Hälfte die des linken Auges deutlich über diejenigen des anderen überwiegen. Durch Abänderung des Versuchs läßt sich zeigen, daß hierbei der periphere monokulare Gesichtsfeldanteil unbeteiligt ist.

Noch markanter tritt, wie schon erwähnt, diese Vorherrschaft jedes der beiden Augen in der gleichnamigen Hälfte des gemeinschaftlichen Sehfeldes hervor, wenn man die „Sehrichtungen“ bestimmt. Man versteht hierunter die Richtung, welche ein Sehding zu unserem Körper bzw. zu den Augen zu haben scheint. Die — rein subjektive — Sehrichtung stimmt keineswegs mit der Verbindungslinie zwischen Sehding

richtungen im ganzen Gesichtsfeld bilde, in welchem sie für beide Augen sämtlich zusammenlaufen. Ich habe kürzlich nachweisen können, daß dem keineswegs so ist. Vielmehr streben die Sehrichtungen in der rechten Hälfte des gemeinsamen Sehfeldes, wenigstens bei der Mehrzahl der Menschen, stets dem rechten Auge, in der linken Sehfeldhälfte dem linken Auge zu, und nur für die nächste Umgebung des Fixierpunktes fällt infolge gemeinsamer Verschmelzung die Sehrichtung in die Medianebene des Körpers. Ich kann hier auf die Einzelheiten nicht eingehen und verweise auf meine diesbezüglichen Arbeiten<sup>5)</sup>. Die Figuren 1 und 2 mögen die Lage der

<sup>5)</sup> Pflügers Archiv Bd. 184, S. 134, und Archiv f. Augenheilk. 89, S. 67 und S. 121.

Sehrichtungen nach der bisherigen Anschauung und nach den Ergebnissen meiner Untersuchungen am einfachsten veranschaulichen.

Diese Vorherrschaft jedes Auges in der gleichnamigen Hälfte des beiden Augen gemeinsamen Sehfeldes ist es, die uns hauptsächlich dazu neigen läßt, schon einen Seheindruck, der in kurzer Entfernung rechts von der Medianebene liegt, dem rechten Auge zuzuschreiben, und wenn er sich links von der Medianebene befindet, dem linken Auge. Diese Neigung steigert sich, je weiter seitlich er liegt, bis schließlich im Bereiche des monokularen Gesichtsfeldbezirkes jedes Auge die alleinige unbestrittene Herrschaft hat. Wie zwingend dieser Eindruck ist, zeigt z. B. ein Versuch, den eben *Dittler*<sup>6)</sup> bei anderer Gelegenheit mitteilt. Wenn man sich auf beiden Augen ein intensives Nachbild von einer senkrechten Lichtlinie erzeugt und sich nun schnell im Dunkeln oder mit geschlossenen Augen mehrmals um sich selbst dreht, so rückt dieses Nachbild aus der Medianebene seitwärts nach der Richtung der vorhergehenden Drehungsrichtung (auf die Gründe kann hier nicht näher eingegangen werden) und man bekommt nun den Eindruck, als wenn das Nachbild nicht mehr beiden Augen, sondern nur noch demjenigen angehöre, nach dessen Seite hin das Nachbild gewandert ist. Natürlich ist dabei immer vorausgesetzt, daß nicht andere Anhaltspunkte unser Urteil bestimmen. Wenn wir z. B. ganz genau wissen, daß wir nur mit dem rechten Auge sehen (etwa das linke geschlossen halten), so können wir natürlich nicht annehmen, daß ein Lichtpunkt, der im Dunkeln uns links von der Mittellinie erscheint, mit dem linken Auge gesehen wird. Nun hat zwar für einen kleinen Lichtpunkt, auf den wir unseren Blick direkt hinrichten, diese Erfahrung scheinbar keine Gültigkeit, denn seine Sehrichtung fällt eben immer annähernd mit der Medianebene zusammen, gleichgültig ob wir mit dem rechten oder linken Auge sehen. Aber wir dürfen nicht vergessen, daß er infolge des Zerstreungslichtes im Auge mit einem ziemlich beträchtlichen Lichthof umgeben ist, durch den auch die peripheren Teile der Netzhaut erhellt werden, welche nun in der oben ausgeführten Weise unser Urteil beeinflussen, unter Umständen sogar so weit, daß eine direkte Lokalisationstäuschung herbeigeführt werden kann (vgl. den oben erwähnten zweiten Wesselyschen Versuch).

Wir sehen also, eine sinnliche Unterscheidung der rechts- und linksäugigen Eindrücke findet im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde nicht statt. Trotzdem ermöglichen uns zwei Momente häufig ein richtiges Urteil, wenn Helligkeit und Deutlichkeit eine gewisse Verschiedenheit aufweisen: Einmal jenes eigentümliche zentral ausgelöste „Abblendungsgefühl“, das auch mit den Eindrücken des ganzen gemeinsamen Sehfeldes ver-

knüpft ist und uns zu der zwingenden richtigen Vorstellung führt, welches Auge vom Sehakt ausgeschlossen ist; zweitens aber — unabhängig davon — die Erscheinung, daß in den beiden Hälften des gemeinsamen Sehfeldes bis zur Meridianebene hin die Eindrücke des jeweils gleichnamigen Auges vorherrschen, d. h. über die des anderen Auges überwiegen und die Sehrichtung der wahrgenommenen Dinge bestimmen.

Diese letztgenannten Ergebnisse dürften auch einiges phylogenetisches Interesse haben. Zeigen sie uns doch an, daß es auch beim Menschen trotz der so hohen Ausbildung des binokularen Sehaktes, trotz so inniger anatomischer und funktioneller Koppelung der korrespondierenden Sehelemente beider Augen, noch immer nicht zu einer vollkommenen gleichzeitigen Verschmelzung der beidäugigen Gesichtseindrücke gekommen ist. Vielmehr erinnern noch manche Erscheinungen beim Sehen an eine frühere Seitwärtsstellung der Augen, bei welcher die gleichnamigen Sehfeldhälften von jedem Auge ganz allein bestritten wurden und die Sehnerven noch ihre Totalkreuzung hatten. Denn da die dominierenden temporalen Gesichtsfeldhälften jedes Auges von den nasalen Netzhauthälften versorgt werden, welche den gekreuzten Sehnervenfasern zugeordnet sind, so haben diese gewissermaßen auch beim Menschen noch das Übergewicht, und vielleicht ist es nicht nur die größere Ausdehnung der temporalen Gesichtsfeldhälften gegenüber der nasalen, durch welche die erheblich größere Zahl der gekreuzten Sehnervenfasern gegen die der ungekreuzten sich erklärt<sup>7)</sup>.

### Deutsche Meteorologische Gesellschaft (Berliner Zweigverein).

In der Sitzung am 21. Februar sprach zuerst Geheimrat Dr. *Süßing* über **Lufttrockenheit auf dem Brocken im November und Dezember 1921**. Die Kälteperiode im November des verflossenen Winters, bei welcher die Temperatur in Mitteldeutschland während der letzten Monatsdekade um etwa 10° unter dem Normalwert lag, brachte dem Brocken auffallend warmes und trockenes Wetter. Neun Tage lang, vom 23. November bis 1. Dezember, betrug die relative Feuchtigkeit nur etwa 20%; in verstärktem Maße, wenn auch von kürzerer Zeitdauer, wiederholte sich die Erscheinung um die Mitte des Dezember, wo die Feuchtigkeit 36 Stunden lang unter 10% blieb. Da kein ruhiges Wetter mit veränderlichen Winden, sondern ein außerordentlich konstanter SE-Wind bis hinauf zu mindestens 4 km Höhe herrschte, da ferner eine Schneedecke fehlte, so konnte die Kälte unten nicht durch Ausstrahlung entstanden sein, sondern nur durch Luftzufuhr aus dem Osten. Zur Erklärung der in der Vertikalen so verschiedenen Struktur dieser Strömung nimmt der Vortragende an, daß außerdem infolge eines Kälteeinbruchs von oben föhnartiges Absinken der Luft bis herab zu etwa 500 m stattgefunden hat. Nach der vorhergegangenen mehrmonatigen Wärmeperiode in

<sup>6)</sup> Zeitschr. f. Sinnesphysiologie 52, S. 274.

<sup>7)</sup> Vgl. auch Archiv f. Augenheilkunde 88, S. 117.



Mitteleuropa waren Gleichgewichtsstörungen unterhalb der Stratosphäre durchaus wahrscheinlich. In dieser an ihrer oberen und unteren Grenze kalten Luftströmung konnten Umlagerungen von Luftmassen, Diffusionserscheinungen u. dergl. stattfinden, ohne daß das Gebilde in seiner Gesamtheit gestört wurde. Die Trockenheit auf dem Brocken war daher zum größten Teil thermodynamisch bedingt, aber außerdem suchte sich die Dampfspannung der Luft mit der Maximalspannung des darunter liegenden Wolkenmeeres durch Diffusion auszugleichen. Das Wolkenmeer wirkte daher austrocknend auf die darüber liegende Luft, ähnlich wie im Sommer eine windgeschützte Gletscherzunge. Die besprochene Erscheinung zeigt, wie wichtig Bergobservatorien zur Ergänzung von Drachen- und Ballonaufstiegen sein können. — Ferner trug Dr. Wussow über **untere Grenzwerte dichter Niederschläge** vor. Da die Definition eines „großen Niederschlages in kurzer Zeit“ sowohl wissenschaftlichen wie praktischen Zwecken genügen soll, ist sie schwer allgemein befriedigend zu wählen. Im preussischen Beobachtungsnetz sind nach dem Vorschlage von Hellmann bestimmte, mit zunehmender Regendauer kleiner werdende Mindestdichten für bestimmte Zeiträume verwendet worden. Symons und Kapner haben diese sprungweise verlaufenden Grenzkurven geglättet, ohne sich jedoch an gesetzmäßige Beziehungen zwischen Regendauer  $t$  (Min.) und Regenhöhe  $h$  (mm) zu binden. Der Vortragende hat versucht,  $h$  als einfache Funktion von  $t$  darzustellen, und zeigte, daß dies am besten durch den ersten Quadranten einer Ellipse gelingt, deren große Halbachse 24 Stunden und deren kleine eine Stunde beträgt. Für kürzere Zeiträume bis zu einer Stunde ist eine Parabel von der Form  $h = \sqrt[3]{t}$  zur Definition des unteren Grenzwerts dichter Niederschläge genügend. Um ungewöhnlich starke Regenfälle zu charakterisieren, unterscheidet Herr Wussow „sehr dichte“ Regenfälle mit dem Grenzwert  $h' = 1,5 h$  und „außergewöhnlich dichte“ Regenfälle (Vorkommnisse höherer Gewalt) mit dem Grenzwert  $h'' = 2 h$ .

In der Sitzung am 21. März hielt Professor Dr. Wigand (Halle) einen Vortrag über **das Sichtproblem**. Die Bestimmung der Sicht war während des Krieges ein dringendes Bedürfnis der Heeresverwaltung, insbesondere die Luftfahrt hatte ein Interesse daran bei der Orientierung, bei Erkundungen über Land und See und bei photographischen Aufnahmen. Man muß folgende, durch Entfernungen ausdrückbare Größen unterscheiden: den rein geometrischen Begriff der Aussichtsweite, den geometrisch-physiologischen Begriff der Erkennungsweite (bedingt durch Netzhautstruktur, Sehwinkel und Form des Gegenstandes) und den physikalisch-meteorologischen Begriff der eigentlichen Sichtweite oder Sichtigkeit, die mit der Trübung der Luft zusammenhängt. Bei Horizontalsicht ist die Trübung unter normalen Verhältnissen nach Entfernung und Richtung gleichmäßig verteilt, während sie sich bei Vertikalsicht gesetzmäßig nach oben ändert. Die Messung der Sichtigkeit geschieht entweder durch Beobachtung entfernter Marken oder durch besondere Sichtmesser. Der Vortragende erläuterte zwei von ihm erdachte Apparate, die auf dem Gedanken beruhen, daß zu der jeweils vorhandenen Lufttrübung eine künstliche Trübung durch Mattgläser hinzugefügt wird, bis ein bekanntes Ziel gerade nicht mehr erkennbar ist. Bei dem zuerst gebauten Apparat (Stufensichtmesser) ist ein Satz von Filtergläsern mit linear abgestufter Trübung in einer drehbaren Scheibe angeordnet, bei der neuen Form (Blendensichtmesser) wird der Trübungsgrad einer ein-

zelnen Mattglasscheibe durch Blenden abgeändert. Prof. Wigand ging dann auf die Theorie dieser Apparate ein. Die einfache Annahme, daß die Sicht sich proportional der Länge der trübenden Schicht ändert, hat sich nicht bestätigt; es läßt sich aber diese Abweichung durch ein Abzugsglied in der ursprünglichen Formel berücksichtigen. So gelangt man auch zu einer brauchbaren Sichtskala. Hinsichtlich der verschiedenen physikalischen Ursachen der Trübung (Staub, Schlierenbildung, optische Einflüsse) haben Beobachtungen gezeigt, daß für die mechanische Trübung nicht die Lichtabsorption, sondern die Lichtstreuung ausschlaggebend ist, denn die Abhängigkeit der Sicht von der Beleuchtungsrichtung entspricht angenähert der Theorie von Wiener über den Einfluß der Lichtstreuung. Zum Schluß wurde auf die Beziehungen zwischen Sichtigkeit, Wetter und Wettervorhersage eingegangen, wobei gezeigt wurde, daß der Vorübergang von Kurs- und Böenlinie einer Zyklone sich deutlich in der Sichtigkeit ausdrücken.

Im Anschluß an diesen Vortrag erläuterte Prof. Wigand auf Wunsch der Versammlung noch kurz seine Methode, bei luftelektrischen Versuchen im Flugzeug und Ballon die Eigenladungen dieser Fahrzeuge auszuschalten.

— Sü.

## Mitteilungen aus der technischen Optik.

Über die Struktur geschliffener und polierter Glasoberflächen gibt interessante Aufschlüsse eine Arbeit in den Transactions of the Optical Society (23) 1921/22, Nr. 3 (The Structure of Abraded Glass Surfaces von F. W. Preston aus dem Laboratorium von Taylor, Taylor and Hobson, Ltd.). Die physikalische Natur des Glasschleif- und Polierprozesses ist bis jetzt nur wenig aufgeklärt worden. Beim Schleifen werden bekanntlich Sand, Schmirgel oder andere Schleifmittel mit Hilfe einer Metall- (oder anderen) Platte dauernd auf dem zu bearbeitenden Glas verrieben. Je feiner das Korn des Schleifmittels ist, um so feiner wird dadurch das „Matt“. Die Struktur des Mattschliffes sah man im wesentlichen bis jetzt als berg- und talartig an (Lord Rayleigh, French u. a.) und erklärte sie dadurch, daß die von den Schleifkörnern verursachten Furchen sich durchkreuzen und durchschneiden. Eine Grenze wird jedoch dieser Bearbeitungsweise durch das Festhaften und „Haken“ der Schleifscheibe bei zu feinem Korn gesetzt. Immerhin nimmt man seit Hooke und Herschel an, daß das Glas schließlich poliert erscheinen müsse, wenn noch feinere Schleifmittel Verwendung finden könnten.

Polieren ist in diesem Sinne nur eine Fortsetzung des Schleifens mit anderen Mitteln. Lord Rayleigh vermutete jedoch dabei (1901) einen rein oder doch nahezu molekularen Prozeß, und 1909 stellte Beilby (Proc. Roy. Soc. 82 A, 1909, S. 599) ausgehend von Beobachtungen bei Metallen die Theorie auf, daß beim Polieren die Oberfläche des Glases einen Flüssigkeitscharakter annähme, unter dem Druck bei der Bearbeitung plastisch würde, unter der Einwirkung der Oberflächenspannung zusammenflösse und in diesem Zustande erstarre. Bei kristallinen Körpern bildet sich so ein amorphes Häutchen, bei amorphen, wie Glas, eine veränderte  $\beta$ -Schicht (French, Trans. Opt. Soc., Nov. 1916) zum Unterschied von der ursprünglichen  $\alpha$ -Substanz.

Verf. zeigt nun an Hand einer Reihe guter Photographien folgende teilweise schon bekannten Tatsachen.

1. Eine Kugel, die auf eine polierte Glasoberfläche mit mindestens dem kritischen Druck gepreßt wird, ruft einen Sprung hervor, der von der Peripherie des mehr oder weniger großen Druckkreises ausgehend, zunächst hyperboloidartig, dann als sich verbreiternder Asymptotenkegel in das Glas dringt.

2. Eine unter Druck stehende, auf der Glasoberfläche bewegte „schrammende“ (chattering) Nadel oder nicht rotierende Kugel gibt einen Kratzer, der von der Oberfläche aus mikroskopisch betrachtet, aus lauter feinen halbbogenförmigen, senkrecht zur Kratzrichtung stehenden „Schrammsprünge“ besteht, die die Breite des Kratzers ausmachen. Die Bogen öffnen sich nach der Seite, wohin die Nadel geht, und dringen schräg, ähnlich wie unter (1) beschrieben, muschelförmig ins Glas ein, und zwar so, daß, von der Seite gesehen, Oberfläche und dieser Muschelsprung mit seinem Spiegelbild den Bewegungspfeil ergeben. ← Unter Umständen wird der Kratzer zu beiden Seiten durch kaskadenartig aneinandergereihte „Kaskadensprünge“ begrenzt.

3. Eine unter Druck über eine Glasoberfläche rollende Kugel gibt einen ähnlichen Kratzer, dessen „Schrammsprünge“ aber umgekehrt wie bei (2) mit ihrer konkaven Seite in die Richtung zeigen, von woher die Kugel kam. Meist laufen hier auch von Bogen zu Bogen Sprünge in Richtung des Kratzers, die senkrecht in das Glas eindringen. Die „Kaskadensprünge“ sind hier weniger ausgeprägt.

4. Ein Glaserdiamant bringt einen Riß hervor, der von der Oberfläche aus betrachtet, eine kleine Furche ist, die von Bogensprüngen etwa von der Art der „Kaskadensprünge“ begrenzt wird. Ein Schnitt senkrecht zur Oberfläche und Ritzrichtung läßt drei Sprünge im Glas erkennen, einen längeren senkrecht zur Oberfläche und zwei seitliche in ihrer unmittelbaren Nähe. Eine Arbeit von *Dalladay* und *Twyman* (The Stress conditions surrounding a Diamond cut in Glass in demselben Heft 3 der Trans.) zeigt die dazu gehörige Spannungsverteilung. Zwischen gekreuzten Nikols sieht man vom Riß fünf schwarze Banden ausgehen. Eine erstreckt sich in Richtung der Linie senkrecht zur Oberfläche durch den Diamantriß, zwei weitere liegen symmetrisch dazu unter  $45^\circ$  und die beiden letzten unter fast  $90^\circ$  geneigt.

Bricht man das Glas längs des Hauptsprungs auseinander, so zeigt er bogenförmige Unebenheiten, ähnlich wie unter (2) mit Hilfe des Bewegungspfeils beschrieben wurde. Der Schnitt mit einem Stahlrädchen statt mit einem Diamant zeigt, wenn auch nicht so vollkommen, die gleichen Einzelheiten.

Bei allen diesen verschiedenen Arten von Sprüngen bleibt die Oberfläche des Glases im großen und ganzen erhalten. Die Menge, die abgesplittert oder sonst entfernt wird, ist außerordentlich gering.

An Hand dieser Resultate zeigt nun der Verf., welche Struktur mattgeschliffene Flächen besitzen. Die oben angeführten Fälle sind die Elementarprozesse, die beim Schleifen in Frage kommen können, d. h. die in das Glas eindringenden Sprünge müssen dabei eine große Rolle spielen. Das Abschleifen ist kein Abkratzen (mindestens nicht allein), sondern in der Hauptsache ein Zersplittern der Oberfläche in viele kleine Sprünge. Wenn man mit scharfem Karborund eine polierte Glasfläche wieder matt schleift, so zeigt sich auf ihr nach kurzer Bearbeitung unter dem Mikroskop eine Anzahl unregelmäßig verteilter Drucksprünge (nach (1)), die durch Spitzen des Schleifmittels hervorgerufen sind. In Verbindung hiermit sieht man häufig Risse ähnlich denen eines Glaserdiamanten (4),

die also dadurch zu erklären sind, daß die Spitzen nicht nur drücken, sondern unter Druck bewegt werden. Mit einem anderen Schleifmittel ergaben sich kurz nach Beginn des Wiederschleifens auf einer polierten Fläche Kratzer mit unverkennbaren „Schrammsprüngen“ (2 u. 3).

Wird das Mattschleifen soweit getrieben, daß alle polierten Stellen verschwinden, so ist die mikroskopische Untersuchung wegen des vielen zerstreuten Lichtes ungleich schwieriger, vor allem geben Photographien keine Aufschlüsse über die Struktur. Ätzt man aber mit Flußsäure an (und zwar nicht längere Zeit wie Lord *Rayleigh*, sondern kurz), so sieht man deutlich eine *Sprung- und Splitterstruktur*, tiefe Sprünge dringen in das Glas ein oder verlaufen muschelartig nahe der Oberfläche.

Der Vorgang des Schleifens verläuft demnach in der Weise, daß durch die Schleifkörner zunächst „Schrammsprünge“, Risse nach dem Diamanttyp, Drucksprünge, Kaskadensprünge usw. erzeugt werden, je nach der Art und Verwendung des Schleifmittels. Erst dadurch, daß diese Sprünge sich bei weiterer Bearbeitung überschneiden und durchkreuzen, beginnen Glaspartikelchen sich loszulösen, aber nur die oberen Teile, während zahlreiche Sprünge noch tiefer ins Glas dringen. Bei Sprüngen des Diamanttyps dürfte zwei- oder dreimaliges Überschneiden zum Lösen von Glas genügen, bei „Schrammsprüngen“ muß man nach Versuchen dagegen vier- oder fünfmaliges Passieren der „Nadel“ annehmen, vorausgesetzt, daß der Druck weit über dem kritischen liegt; sonst dürfte zehn- bis zwölffaches Überkreuzen nötig sein.

Die nach dem Schleifen vorhandenen Unebenheiten — die früheren Berge und Täler — stellen also nicht die volle Tiefe der aufgebrochenen Oberfläche dar, sondern darunter erstrecken sich unzählige Sprünge wahrscheinlich zwei- bis dreimal so tief. Eine matte Oberfläche ist daher, richtiger gesagt, eine *matte Schicht*. Mikroskopische Beobachtungen von der Oberfläche und der Seite her bestätigen dies. Verf. fand, daß die tiefsten Löcher etwa 3, die Sprünge dagegen 3–10 Wellenlängen unter der Oberfläche liegen.

Einen weiteren Einblick in diese Struktur ergaben Versuche des Verf., den „Twymaneffekt“ zu erklären. Wenn ein dünnes Glasstück an beiden Flächen matt geschliffen und durch zwei polierte Seiten zwischen Nikols betrachtet wird, so zeigt sich in der Nähe jeder Fläche Spannung (*F. Twyman*, Proc. Opt. Conv. 1905, S. 78). Beim Polieren verschwindet sie, und der Verf. konnte zeigen, daß ganz leichtes Überpolieren, ebenso leichtes Anätzen bereits diese Wirkung hat. Je rauher übrigens der Schliff, um so stärker ist auch die Spannung. Verf. schließt daraus, daß die Spannung ihre Ursache darin hat, daß in die feinen Sprünge während des Schleifens Splitter eingeklemmt werden, die durch das Anpolieren und Ätzen verschwinden.

Das Polieren geschliffener Oberflächen geschieht allgemein dadurch, daß man sie mit sehr feinen Schleifmitteln (Polierrot) unter Zuhilfenahme einer elastischen oder plastischen Reibplatte aus Holz, Tuch, Filz oder Pech, Wachs und ähnlichem bearbeitet. Dabei verschwinden allmählich die Sprünge und Unebenheiten, wie *Beilby* und *French* annehmen, dadurch, daß unter dem Druck der Platte die Oberfläche des Glases plastisch wird und die einzelnen Risse „ausgebügelt“ und „verschmiert“ werden. Diese so entstandene  $\beta$ -Schicht soll nach *French* etwa 8 Wellenlängen tief sein.

Um diese Angabe nachzuprüfen, ging der Verf. von der Annahme aus, daß das  $\beta$ -Glas möglicherweise eine



andere Lösungsgeschwindigkeit besitzt als die unveränderte Substanz. Beim Ätzen mit Flußsäure fand er aber, daß die Löslichkeit innerhalb der Versuchsfehler konstant blieb. Hierbei entdeckte er nun, daß nach leichtem Ätzen einer mit Polierrot gut polierten Oberfläche eine Kratzerstruktur bloßgelegt wurde, die vorher mikroskopisch nicht zu beobachten war. Diese „Spinnwebstruktur“ besteht aus äußerst feinen Fäden und entwickelt sich bereits beim Wegätzen einer Schicht von etwa  $\frac{1}{10}$  Wellenlänge. Um diese feinen Fäden überhaupt kenntlich zu machen, mußten alle Hilfsmittel des Mikroskopierens herangezogen werden. Bei einer mit Mangandioxyd polierten Fläche konnten aber auch die Struktureinheiten der Fäden näher untersucht werden. Sie erwiesen sich zusammengesetzt aus lauter feinsten „Schrammsprüngen“, wie sie bereits oben beschrieben wurden. Eine nähere Untersuchung ergab, daß wir es beim Polieren mit schrammenden und nicht mit rollenden Körnchen zu tun haben. Eine mit Chromoxyd polierte Fläche zeigte nach dem Ätzen die Spring- und Splitterstruktur eines Mattschliffes, nur viel zarter.

Die Einzelheiten einer „Spinnwebstruktur“ sind meist mikroskopisch nicht auflösbar. Die Breite dieser Fäden ist unzweifelhaft kleiner als  $\frac{1}{2}$  Wellenlänge. Nach dem Verfasser bestehen sie jedoch fraglos ebenfalls aus „Schrammsprüngen“, deren Struktureinheiten etwa von der Größenordnung  $10\mu$  sind. Da nach dem Verfasser die Größe der Glasmoleküle zu etwa  $1\mu$  angenommen werden darf, würden also die „Schrammsprünge“ dieser feinsten Spinnfäden nur einige Moleküllängen auseinander liegen. Ein „Fließen“ des Glases an der Oberfläche dürfte sich demnach nur auf außerordentlich geringe Tiefe erstrecken, weil andernfalls alle feinere Struktur der Fäden verschmiert werden müßte. Bis zur Grenze der mikroskopischen Auflösbarkeit ließ sich jedoch diese Schrammstruktur stets nachweisen.

Es erweist sich demnach die Ansicht von *Hooke* und *Herschel*, daß Polieren nur eine Fortsetzung des Schleifens ist, in der Hauptsache als die richtige. Zunächst wird dabei die ganze matte Fläche mit einer Schicht feinsten Schleifmittels (Polierrot) belegt. Dieses bringt zahllose Schrammkratzer hervor, deren „Schrammsprünge“ von mehr oder weniger ultramikroskopischer Feinheit sind. Sie gegenseitig durchkreuzend, brechen diese, ähnlich wie beim Schleifen, die Oberfläche auf und tragen so die Unebenheiten allmählich ab. Beim „Trockenpolieren“ kommt dann die Polierscheibe in innige Berührung mit der Glasoberfläche und die ganze Sprung- und Splitterschicht wird abgetragen. Zu gleicher Zeit findet aber noch eine leichte molekulare Umlagerung in der neuen Oberfläche statt, wie sie *Beilby* und andere beobachteten. Aber hierüber ergeben sich eine Reihe neuer Fragen, von denen einige lösbar zu sein scheinen. In einer weiteren Mitteilung hofft Verfasser darüber berichten zu können.

Berger.

**Die physikalische Bedeutung der sphärischen Abweichung** (*L. C. Martin*, The physical meaning of spherical aberration, Transactions of the Optical Society 1921—22, 23, Nr. 2, Sonderdruck, 28 S.). Nach einer Aufzählung einiger theoretischer Arbeiten auf diesem Gebiet, wobei von den Strehlschen Arbeiten nur die 1894 erschienene Theorie des Fernrohrs, nicht aber die 1907 im Verlag der Central-Zeitung für Optik und Mechanik erschienene Einführung in die beugungstheoretische Optik genannt ist (diese ist ein Abdruck aus der Centr.-Ztg. f. Opt. u. Mech. und gibt eine zusammenfassende Darstellung der bis dorthin erschie-

nen Strehlschen Arbeiten), wird im Anschluß an Arbeiten von *A. Conrady* aus den Jahren 1905 und 1919 zunächst erläutert, wie man theoretisch aus einer trigonometrischen Durchrechnung der zu untersuchenden Linsenfolge den Phasenunterschied zwischen dem Achsenstrahl und dem betrachteten Randstrahl berechnen kann. Dabei zeigt sich, daß der übrig bleibende Phasenunterschied davon abhängt, welche achsen-senkrechte Ebene man als Bildebene wählt. *L. C. Martin* schließt sich der Forderung *A. E. Conrads* an — die übrigens früher auch *Strehl* (siehe die oben genannte Schrift S. 28, in der auf eine Veröffentlichung *Strehls* aus dem Jahre 1903 „Zonenfehler und Astigmatismus“ in der Zeitschr. f. Instrumentenkunde Bezug genommen ist) aufgestellt hat —, daß die für die günstigste Einstellung übrig bleibenden Phasenunterschiede bei einem brauchbaren optischen Instrument höchstens  $\lambda/6$  betragen dürfen ( $\lambda$  = Wellenlänge). Den Hauptteil (S. 9—28) der Martinschen Arbeit nimmt die experimentelle Untersuchung eines fünfzähligen Mikroskopobjektivs ein, dessen Brennweite 8 mm und dessen numerische Apertur 0,65 beträgt. Dabei zeigte sich, daß der Phasenunterschied linear abhängt von dem Kehrwert der Tubuslänge, wenn man jedesmal den Phasenunterschied im „Bildpunkt“ des Randstrahls bestimmt. Die drei auf S. 11 wiedergegebenen Fälle sind:

| $L$      | $1/L$  | Phasenunterschied <sup>1)</sup> |
|----------|--------|---------------------------------|
| 6,0 Zoll | 0,166  | — 4,11 $\lambda$                |
| 6,9 „    | 0,145  | — 0,4 $\lambda$                 |
| 8,5 „    | 0,1175 | + 4,4 $\lambda$                 |

Als abzubildender Gegenstand diente dabei, entsprechend dem bei der Untersuchung von Fernrohr-objektiven benutzten „künstlichen Stern“ eine ultramikroskopisch feine beleuchtete Öffnung in einer versilberten Glasfläche. Mittels der Hartmannschen Methode wurden die sphärischen Abweichungen photographisch bestimmt und daraus die Phasenunterschiede abgeleitet; sie stimmten im wesentlichen mit den aus der Anlage des Mikroskopobjektivs nach der Conradschen Formel berechneten Phasenunterschieden überein. Als Erklärungsmöglichkeit für die bestehenden kleinen Unterschiede werden die Abweichungen der Linsenflächen am äußersten Rand von der mathematischen Gestalt und kleine Ungenauigkeiten bei der Fassung der Linsen genannt. Es sind dabei für zwei zueinander senkrechte Öffnungsdurchmesser Messungen vorgenommen worden, um den kleinen Astigmatismus (auf der Achse) durch Mittelbildung auszuschalten.

Die photographischen Aufnahmen des Beugungsscheibchens und seine mikrometrischen Ausmessungen ergeben, daß der Durchmesser des ersten dunklen Rings (und nahezu auch die Breite des Beugungsscheibchens, also des Mittelbildes) für die günstigste okulare Einstellung nicht sehr von der sphärischen Abweichung beeinflusst wird, solange diese nicht mehr als  $\frac{1}{4} \lambda$  Phasenunterschied hervorruft. Die photometrische Untersuchung dieser photographischen Aufnahmen ergab, daß selbstverständlich die Helligkeit des Mittelbildes abnimmt, wenn sphärische Abweichung auftritt. Dabei nimmt aber nicht etwa die Helligkeit des ersten hellen Ringes besonders zu, sondern die Zerstreuung der Energie infolge der sphärischen Abweichung erfolgt auf eine größere Fläche.

Die Messungen nach einer visuellen „Extinktionsmethode“ bestehen darin, daß man den Schwellenwert („threshold of vision“), bei dem (für den Fall, daß die günstigste Einstellung des Beugungsscheibchens ge-

<sup>1)</sup> Differenz zwischen dem „optischen Weg“ des Achsenstrahls und des Randstrahls.

wählt worden war) das Mittelscheibchen des Beugungsbildes soeben verschwindet, bestimmt, indem man eine meßbare Schwächung des Lichtes vornimmt. Sie ergeben, daß für etwa  $\lambda/4$  Phasenunterschied schon 20 % der Helligkeit im Mittelbild fehlen im Vergleich mit dem Fall des Phasenunterschieds Null, und daß für  $\lambda/2$  Phasenunterschied dieser Verlust auf 50 % gewachsen ist. Die Grenze  $\lambda/6$  bis  $\lambda/8$  ist damit auch experimentell erwiesen.

Schließlich werden noch die Beugungsbilder innerhalb und außerhalb der günstigsten Einstellungsebene untersucht, ebenfalls unter Verwendung eines Farbfilters (Wellenlänge in der Gegend 520  $\mu\mu$ ), und zwar photographisch und visuell. Es zeigt sich — ebenso wie es von den Fernrohrprojektiven her bekannt ist —, daß bei sphärischer Abweichung das Beugungsbild innerhalb der Einstellungsebene wesentlich von dem außerhalb der Einstellungsebene verschieden ist.

H. Erfle.

## Astronomische Mitteilungen.

**Der Maßstab des Universums<sup>1)</sup>.** Über den Bau des Weltalls handelt diese kleine Schrift, die eine muster-gültige Darstellung zweier konträrer Auffassungen ist, welche sich in wissenschaftlich vornehmster Weise wechselseitig bekämpfen: Am gleichen Tage (26. April 1920) hatten H. Curtis von der berühmten Licksternwarte und H. Shapley, bekannt durch seine Forschungen über die kugelförmigen Sternhaufen auf dem Mount-Wilson, ihre Ansichten vor der Washingtoner Akademie der Wissenschaften vorgetragen; nun haben beide ihre Ausführungen zu Druck gebracht, wobei sie noch die Manuskripte vorher untereinander austauschten, um auf des Gegners Ansicht Rücksicht zu nehmen. Dementsprechend sind im Text auch keine „Spitzen“ und dergl. Würden doch alle heutigen Streitfragen so vornehm diskutiert wie hier! Gegenbeispiele, auch aus den exakten Naturwissenschaften, sind wohl nicht nötig. — Statt sukzessiver Inhaltsangabe seien nachstehend die Hauptstreitpunkte der Schrift hervorgehoben.

Curtis vertritt die ältere Auffassung vom Universum: Unsere Sonne ist nahe der Mitte des Milchstraßensystems. Dieses gleicht mehr oder weniger den bekannten Spiralen, wie dem Andromedanebel, d. h. es ist eine große, runde, flache Scheibe, deren Achsen ca. 20 000 bzw. ca. 4000 Lichtjahre sind. In diesem System befinden sich die chaotischen und planetarischen Gasnebel<sup>2)</sup>, die großen Milchstraßenwolken, die in der Milchstraße gelegenen Sternhaufen und die Kugelhaufen<sup>3)</sup>. Außerhalb, und zwar von 500 000 Lichtjahren angefangen bis in die 1000 und mehr Millionen Lichtjahre — bis über die Grenzen der heutigen Forschung hinaus — liegen die weißen oder Spiralnebel, jeder ein Milchstraßensystem für sich. (Über  $\frac{1}{2}$  Million solcher liegen im Bereich unserer großen heutigen Spiegelteleskope.)

Shapleys und seiner Anhänger Weltbild ist ein grundsätzlich anderes. Für ihn ist die Milchstraße ein Komplex von riesigen Sternwolken, nahe der Mitte einer dieser steht die Sonne, andere sind die hellen Wolken im Schwan, Schützen, die beiden Kapwolken usw. Die Distanz dieser Wolken fängt mit 20 000 Lichtjahren an und geht in die 2—300 000. Wir selbst

stehen mindestens 50 000 Lichtjahre seitlich der Mitte dieser größeren Welt. Die Stellung der Sonne mit der Mitte des Alls nahezu zu identifizieren, ist Shapley zu anthropozentrisch, so wie es die vorkopernikanische Lehre war. Die Kugelhaufen liegen in 20 000—200 000 Lichtjahren Entfernung, die Spiralen aber sind Welten, den Kugelhaufen mehr oder weniger kosmisch gleichgestellt, d. h. außerhalb des eigentlichen Milchstraßenkomplexes gelegen, aber ihm zugeordnet.

Eine definitive Entscheidung für eine dieser Auffassungen steht heute noch aus, und so endet — man möchte fast sagen leider — der Diskurs unentschieden. Da über die fernen Sternwolken das Beobachtungsmaterial heute noch zu spärlich ist, dreht sich der Kampf vor allem um die Kugelhaufen und Spiralen.

Curtis<sup>4)</sup> hält Shapleys Distanzen usw. der Kugelhaufen für ca. 10mal zu hoch angesetzt. Oder, astrophysikalisch gesprochen, ihre hellsten Sterne sind nach Shapley rote und weiße Riesen von der absoluten Größe  $M = -1$ , der 100- bis 500fachen Leuchtkraft unserer Sonne, während nach Curtis  $M = +4$  ist, etwa der doppelten Sonnenintensität, gleich der Helligkeit des „Durchschnittssterne“. Shapleys Distanzen stützen sich auf die Tatsache, daß die hellen Sterne sonstiger Haufen (Plejaden usw.) Riesen sind, daß die Farbenindices der hellen Kugelhaufensterne auf rote Riesen hindeuten, auf gewisse stellarstatistische Untersuchungen, und vor allem auf die Beziehung zwischen absoluter Leuchtkraft und Periode der  $\delta$ -Cephei-Veränderlichen in den Kugelhaufen und in der Milchstraße<sup>5)</sup>. Besonders letztere Korrelation wird von Curtis<sup>4)</sup> stark, und meines Erachtens gut Teil zu Recht, stark angegriffen, zumal an Hand eines eindrucksvollen Diagramms. Die sonstigen wechselseitigen Argumente abzuwägen, ist hier nicht der Ort.

Curtis, dessen Hauptarbeitsgebiet die Nebelflecken sind<sup>6)</sup>, stellt in sehr anschaulicher Weise für die Spiralen das Pro und Contra der „Weltinsel“- und „Sternhaufentheorie“ gegenüber. Für ihn sind dies Weltinseln, wie er vor allem aus dem Aufleuchten von neuen Sternen im Andromedanebel und anderen Spiralen schließt, die er mit denen unserer Milchstraße vergleicht. Auf die wichtigsten Einwände Shapleys — Rotationsbewegung der Spiralen<sup>2)</sup>, Flächenhelligkeit dieser im Vergleich mit der Milchstraße — geht er leider nicht ein.

Es sei mir gestattet, meine eigene Ansicht hier auszusprechen, zumal ich in einer neuen Arbeit — unabhängig von vorstehend skizzierter Debatte — mich eingehend mit diesem Problem befaßt habe. Im ganzen halte ich die Shapleyschen Ansichten für die richtigeren. Insonderheit glaube ich auf zwei neuen Wegen darlegen zu können, daß seine Distanzen der Kugelhaufen zutreffend sind. Ferner ergeben sich die Spiralen durchschnittlich als sehr flache Scheiben, wie auch meist bisher angenommen (Achsenverhältnis 10 : 1), wenn auch der nach Abschluß meiner Untersuchungen erhaltene neue Jahresbericht der Mount-Wilson-Sternwarte von „Kugelnebeln“ als neuem Nebeltypus spricht. Die hellsten Spiralen setze ich in Entfernungen gleich der der Kugelhaufen, die schwachen entsprechend ferner, und schließlich ergibt sich, übereinstimmend mit Wirtz<sup>6)</sup>, die gleiche Bewegungsrichtung der Sonne gegenüber dem System der Kugelhaufen wie der der Spiralen.

J. Hopmann, Bonn.

<sup>1)</sup> Bulletin of the National Research Council Nr. 11, Washington, Mai 1921.

<sup>2)</sup> Vergl. Naturwissenschaften 1922, Heft 1.

<sup>3)</sup> Vergl. Naturwissenschaften 1920, S. 740.

<sup>4)</sup> Und mit ihm auch Kapteyn (Bulletin of the Astr. Institute of the Netherlands Nr. 2).

<sup>5)</sup> Vergl. Naturwissensch. 1921, S. 769.

<sup>6)</sup> Astron. Nachr. 5153.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 23. (Seite 521—536)

9. Juni 1922.

LIBRARY  
Zehnter Jahrgang

JUL 18 1922

## INHALT:

Neue Befunde zur Entstehung des Haarkleides der Säugetiere. Von *Felix Pinkus, Berlin*. (Mit 4 Abbildungen.) S. 521.

Die Anwendung der Interferometrie auf biologische Probleme. Von *Paul Hirsch, Jena*. S. 525.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Über das Wasserstoffmolekülmodell. Von *A. Eucken, Breslau*. (Mit 2 Abbildungen.) S. 533.

Deutsche Ornithologische Gesellschaft. Die Biologie der Raben. S. 534.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten. S. 535-536.

Prähistorische Daten: Ein Kalender über 30000 Jahre. Eine elektrische Lokomotive.

# ZEISS

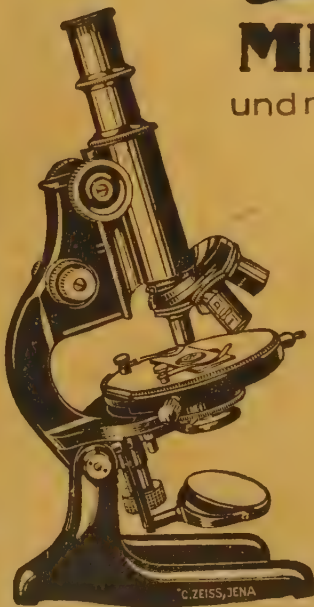
## MIKROSKOPE

und mikroskopische Hilfsapparate

Lupen  
Projektionsapparate  
Epidiaskope  
Photo-Objektive

usw.

Druckschriften auf  
Wunsch kostenfrei



### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 60.— für das zweite Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 6.—.

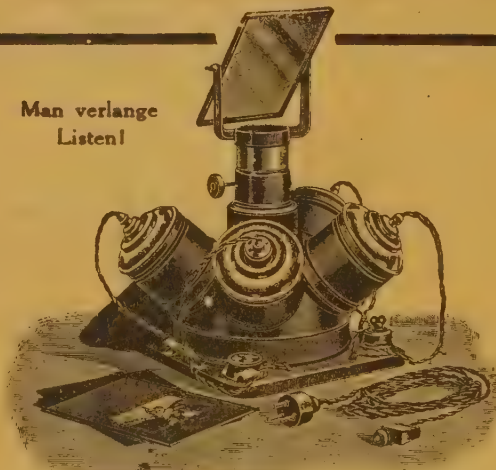
Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6552-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20320 Julius Springer,  
Konten: für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118 935 Julius Springer.

Man verlange  
Listen!



### Projektions-Apparate Liesegang

Hochkerziges

## Globoscop

entwirft scharfe, helle Lichtbilder nach jedem Papierbild. An jede elektrische Lichtleitung anzuschließen.

Neue große Lichtbilder-Sammlung  
aus allen Gebieten  
für Lehr- und Vortragszwecke!

Ed. Liesegang, Düsseldorf  
Brieffach 124

Die Anschaffung des (258)

### Handwörterbuchs der Naturwissenschaften



10 Bände in Halbleder 5000 M., Auslandspreis 15 000 M.,  
erleichtert durch Verteilung des Betrages  
auf mehrere Jahre oder Amortisation in 10%  
Monatsraten. Das Werk wird sofort voll-  
ständig geliefert.

H. Meusser, Buchhandlung  
Berlin W 57/9, Potsdamer Straße 75

### Mineralien, Kristalle und Gesteine

einzeln und in ganzen Sammlungen.

Spez.: Vogtl. u. sächs. Vorkommen, sowie Graptolithen

offert preiswert und in reicher Auswahl

### Mineralien-Niederlage A. Jahn

Plauen i. V., Oberer Graben 9 (259)

## Voigt & Hochgesang Göttingen

Fabrik f. Dünnschliffe,  
Kristallpräparate von  
eigenem, sowie von  
geliefertem Material.

(260)

Schul- und Studiensammlungen von ersten  
Fachleuten der Wissenschaft zusammengestellt.  
Kataloge stehen kostenfrei zur Verfügung.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

Soeben erschienen:

## Die Wasserstoffionenkonzentration

Ihre Bedeutung für die Biologie und die Methoden ihrer Messung

Von Dr. Leonor Michaelis

a. o. Professor an der Universität Berlin

Zweite, völlig umgearbeitete Auflage

Teil I:

### Die theoretischen Grundlagen

Mit 32 Textabbildungen. :: :: (XII, 262 S.)

(„Monographien aus dem Gesamtgebiet der  
Physiologie der Pflanzen und der Tiere“, Bd. I.)

Preis M. 69.—; in Ganzleinen gebunden M. 90.—

ZU BEZIEHEN DURCH JEDE BUCHHANDLUNG

## Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu kaufen gesucht. Angebote unter  
Nw. 236 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.



# DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zehnter Jahrgang.

9. Juni 1922.

Heft 23.

## Neue Befunde zur Entstehung des Haarkleides der Säugetiere.

Von Felix Pinkus, Berlin.

Der Übergang der schuppenbekleideten Reptilien in die Haar- und Federtiere hat seit dem Beginn der Entwicklungstheorien vielfache Bearbeitung erfahren. Dieser Übergang ist ein Aufstieg in der Organisation. Soviel von den Rätseln dieses Fortschrittes auch schon gelöst ist oder durch Hypothesen vorstellbar gemacht wurde, so bleibt doch noch immer ein großer Teil des zu wissen Nötigen unklar. Die Frage muß von zwei Gesichtspunkten aus betrachtet werden; der eine ist der Grund des Vorgangs, der andere der Weg, den die Umbildung genommen hat. Der Grund des Übergangs der Haut, die mit Schuppenbedeckung zum Leben ausreichende Bedingungen bot, in diejenige, welche der Haar- und Federbedeckung bedurfte, kann nur in physikalischen Verhältnissen der Erdatmosphäre gesucht werden. Biologie und Physik sind die Wissenschaften, welche ihn erforschen können. Die Umbildung selbst aber zu beschreiben, ist Sache der Morphologie. Was diese Wissenschaft für die Frage der Säugetierableitung leisten kann, zeigt die paläontologische Skelettforschung im allgemeinen, die vergleichende Zahnforschung im spezielleren. Eine so spezielle systematische Kenntnis wie von den Zähnen besitzen wir von Haar und Feder bei den lebenden Tierarten ebenfalls. Paläontologisch aber haben wir sie nicht, da Haar und Feder sehr vergängliche Gebilde sind und nicht, wie die Zähne, von ältesten Zeiten her sich erhalten haben. Für die Entstehung von Haar und Feder brauchen wir aber auch diese spezielle Kenntnis nicht. Wir wären zufrieden, wenn wir die Ableitung dieser Gebilde im allgemeinen kennen würden.

Zu einer Zeit, als diese Fragen noch keine große Bedeutung besaßen, hat der wichtige Fund der beiden Archaeopteryxexemplare unzweifelhaft eine Zwischenstufe zwischen Reptil und Vogel ans Licht gebracht. So sicher auch die vergleichende Morphologie die Entstehung der Feder aus der Reptilienschuppe erwiesen hat, so hat der Fund dieses Zwischentypus Archaeopteryx doch eine unschätzbare Bedeutung. Für die Säugetiere ist ein ähnliches Zwischenglied aus paläontologischen Funden nicht vorhanden. Es dürfte aber wohl kaum von der Richtigkeit abweichen, wenn wir annehmen, daß entsprechende Zwischenstufen uns unter den lebenden Tieren noch zur Verfügung stehen. Als diese Zwischenstufen dürfen wir die Monotremen ansehen, welche in Bau und

Entwicklung noch eine größere Verwandtschaft mit den Reptilien als die höheren Säugetiere besitzen. Aus ihrem Fell aber Rückschlüsse auf die Entstehung der Haare ableiten zu wollen, ist unmöglich, genau so wie die Ableitung der Feder aus der Reptilienschuppe bei Archaeopteryx nicht möglich ist.

So sicher wir annehmen dürfen, daß die Vorläufer der haarbekleideten Säugetiere reptilartige Wesen sein müssen, vermutlich Stegocephalen, so wissen wir noch nicht im mindesten, an welcher Stelle des Stammbaums der Übergang stattgefunden haben mag.

Paläontologisch lassen sich weder Haare noch Federn ableiten. Diese Gebilde müssen an den lebenden Tierarten vergleichend anatomisch erforscht werden. Wir lassen die Federn in dieser Betrachtung beiseite, da es, wie gesagt, als sicher anzunehmen ist, daß die Reptilienschuppe in die Feder übergegangen ist, ja, daß die Schuppen der Vogelbeine vielleicht den Reptilienschuppen noch sehr nahe stehen. Dies muß an einer Stelle des Stammbaums geschehen sein, die viel jünger, d. h. systematisch höher organisiert ist als die Stelle, an der das Haar sich zu bilden begann. Die Feder ist ein Gebilde ziemlich hoch spezialisierter Reptilien; das Haar muß in primitiveren Verhältnissen sich angelegt haben.

Für die Abstammung des Haares sind einige neuere Befunde gemacht worden, die zusammenzufassen wichtig ist. Wir handeln deshalb hier nur die vermutliche Entstehung der Haare ab.

Maurers Arbeiten über die Integumentalorgane<sup>1)</sup> führen zu dem Ziel, daß die Hautsinnesorgane am Lateralnervensystem in Beziehung zu den Haaren, die Hautdrüsen der Amphibien in Beziehung zu den Schweißdrüsen der Säugetiere stehen. Maurer faßt den Übergang von den Amphibien- und Fischverhältnissen zu denen der Reptilien in folgender Weise auf. Beim Seitenorgan, das aus den zentralen Sinneszellen und den äußeren, diese rund herum umgebenden Stützzellen besteht, werden die Sinneszellen vom n. lateralis sensorisch innerviert, die Stützzellen von den cerebrospinalen Kopf- und Rumpfnerven sensibel. Das Lateralsinnesorgan wird, wie er bei Fischen beobachtet hat, gelegentlich ausgestoßen. An seiner Stelle bildet sich durch Wucherung der umgebenden Epithelzellen eine Epidermisverdickung, das sog. Perlorgan. Diese Perlorgane sind Homologa der Merckelschen Tastflecke der Anuren und der Reptilien; indessen sind in diesen Tastflecken, für welche der beim Übergang

<sup>1)</sup> Fr. Maurer, Die Epidermis und ihre Abkömmlinge. Leipzig, Engelmann, 1895.

zum Landleben verschwindende nervus lateralis als Innervation nicht mehr in Betracht kommt, nach Maurers Annahme die zentralen Sinneszellen nicht zugrunde gegangen, sondern nur in die Tiefe versenkt worden. Die Tastflecke der Reptilien sind, wie wir sehen werden, außerordentlich wichtige Gebilde, oft beachtet bei theoretischen Ableitungen der Haare. Hier sei gleich bemerkt, daß die Tastflecke der Anuren und der Reptilien nach meinen eigenen Untersuchungen vermutlich mit den zuerst von Römer<sup>2)</sup> bei Echidna, dann von mir bei einer großen Reihe von Säugetieren und vor allem beim Menschen beschriebenen *Haarscheiben*<sup>3)</sup> zu vergleichen sind.

Die Haare leitet Maurer aber nicht von diesen zu Perlorganen und Tastflecken umgewandelten Lateralorganen ab, sondern direkt von den Seitenorganen selbst. Die Lateralinnervation geht zugrunde, das Endorgan wird unter Verlust der zentralen und Weiterbestehen der seitlichen Innervation zum Haarfollikel und Haar. Und zwar bilden die Sinneszellen dessen zentralen Teil, das Mark; die Stützzellen, welche bereits bei den geschwänzten Amphibien verhornen, wenn sie zeitweise das Wasser verlassen, bilden die Haarrinde; die umgebenden Epidermiszellen bilden die Hüllen des Haares.

Diese Erklärung für die Abstammung des Haares hat zwar viele Anhänger gefunden, aber sich doch keine allgemeine Anerkennung zu erwerben vermocht. Ich selbst habe ihr widersprochen, weil mir der Sprung von den Amphibien zum Säugetier ohne auffindbare Zwischenstufen zu weit erschien, und weil ich in meinen Untersuchungen über die Haarscheibe zu dem Ergebnis kam, daß die typische Lagerung von Haar und Haarscheibe (= Reptiliensinnesorgan) zueinander die Vereinigung auf dem Bezirk einer Reptilienschuppe zur Voraussetzung haben müsse. Zudem mußte auf diesem Schuppenbezirk, der in seinen Tastorganen zweifellos Homologa der Amphibientastflecke trägt, auch ein Rest der nach Maurers Hypothese umgewandelten Lateralorganen vorhanden sein, wenn diese die Vorläufer der Haare wären. Denn daß das eine Organ sich beim Reptil erhalte, das andere zugrunde gehe, wollte mir nicht einleuchten.

Die Idee, daß man auf den Reptilienschuppen nach Gebilden suchen müsse, die als Vorläufer des Haares anzusehen sind, ist alt und wahrscheinlicher als jede andere. Alles, was auf ihnen gefunden wurde, ist auch alsbald in dieser Weise gedeutet worden. Nur fand man früher keine ausreichende Ähnlichkeit. Das hat sich in den letzten Jahren sehr zugunsten der Ursprungshypothese des Haares auf der Reptilienschuppe

<sup>2)</sup> Fr. Römer, Studien über das Integument der Säugetiere II. Das Integument der Monotremen. Semons Forschungsreisen, Jenaische Denkschriften VI, 1898.

<sup>3)</sup> F. Pinkus, Über Hautsinnesorgane neben dem menschlichen Haar (Haarscheiben) und ihre vergleichend anatomische Bedeutung. Arch. f. mikr. Anat. Bd. 65, S. 121.

geändert. In den Arbeiten von Cohn<sup>4)</sup>, Schmidt<sup>5)</sup> und Preiß<sup>6)</sup> sind wichtige neue Befunde enthalten. Wir lernen aus ihnen den Bau der Sinnesorgane auf den Schuppen einiger Reptilienarten, und namentlich ihre Entwicklung vor der Häutung

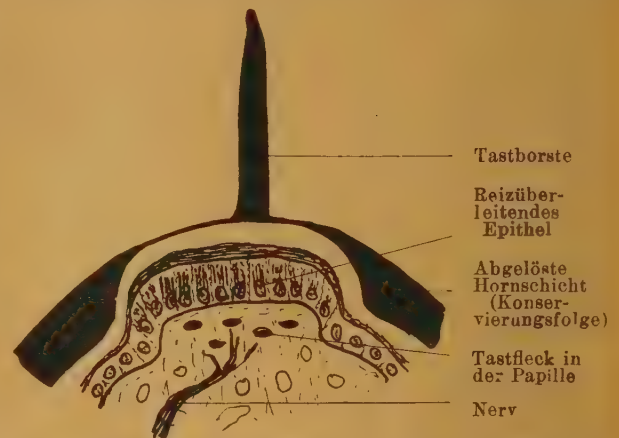


Fig. 1. Schema nach Schmidt, Fig. 12—16. Tastorgan mit Borste im Ruhezustand. Der Nerv ist schematisch von mir dazugezeichnet (Calotes).

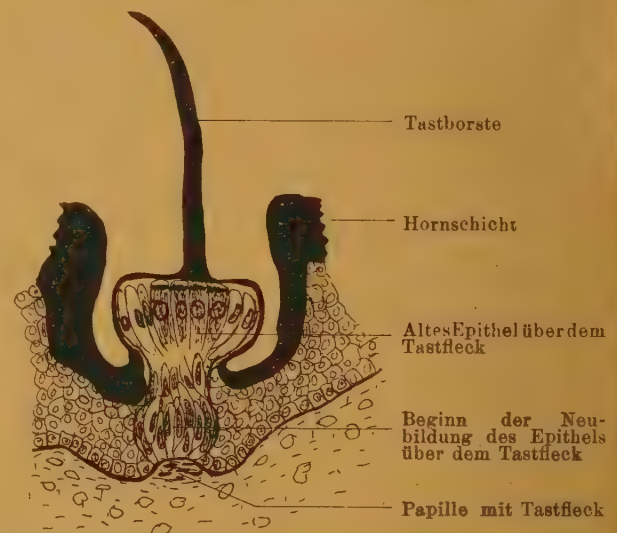


Fig. 2. Schema nach Cohn und Schmidt, Fig. 11. Beginn der Neubildung des Tastorgans von Agama (Deutung nach Preiß).

kennen. Diese Befunde lehren, daß gewisse Formen der Reptilienorgane anatomisch sehr den Säugetierhaaren vergleichbar sind.

<sup>4)</sup> L. Cohn, Die Hautsinnesorgane von Agama colorum. Zool. Anz. Bd. 44, S. 145, 1914.

<sup>5)</sup> W. J. Schmidt, Einiges über die Hautsinnesorgane der Agamiden, insbesondere von Calotes, nebst Bemerkungen über die Organe bei Geckoniden und Iguaniden. Anat. Anz. Bd. 53, S. 113, 1920.

<sup>6)</sup> Frieda Preiß, a) Über Sinnesorgane in der Haut einiger Agamiden. Zugleich ein Beitrag zur Phylogenie der Säugetierhaare. Jenaische Zeitschr. f. Naturwissenschaft Bd. 58, S. 25, 1921. b) Einige Bemerkungen zu W. J. Schmidts Aufsatz: Einiges über die Hautsinnesorgane der Agamiden. Anat. Anz. Bd. 54, S. 22, 1921.



Die Grundlage der Sinnesorgane der Agamengattungen besteht aus einer mit Tastmenisken, Nerven und Blutgefäßen versehenen Kutispapille. Über dieser Papille liegt eine je nach der Gattung recht verschieden gebaute Epithelzellenplatte, deren Zellen meist hoch, in zentrale Zellen und äußere Stützzellen unterschieden und von der umgebenden Epidermis abweichend gestaltet sind. Diese Epithelzellenplatte bildet aus ihren zentralen Zellen einen Hornstachel (Tastborste) aus. Im Ruhestadium sieht man also auf dem Durchschnitt den frei hervorragenden Hornstachel, auf einer dünnen Hornlamelle aufsitzend, und unter dieser das hohe Epithel des Tastorgans über der Tastzellen haltenden Kutispapille. So verschieden der genauere Bau der Tastorgane, namentlich ihrer epithelialen Partie, je nach der Gattung der Tiere ist, so bleiben diese Unterschiede für unsere Betrachtungen doch ohne Bedeutung. Dagegen ist es für uns von der größten Wichtigkeit, daß die mehr oder weniger lange und starke Tastborste in der Mitte des Organs kein einfaches Kutikulargebilde und auch nicht etwa ein einzelliges Härchen ist, sondern ein zusammengesetztes Organ, das aus einer Anzahl spindelförmiger Zellen besteht. Diese Zellen sind meist pigmentiert und ganz ähnlich einem Säugetierhaar fest miteinander zu einem einheitlichen Organ verkittet, von einer unpigmentierten Zelllage überzogen.

Wenn die Häutung sich vorbereitet, beginnt von der untersten Epithelzelllage aus sich auf der alten, unverändert bestehen bleibenden Kutispapille ein neues Organ zu bilden. Nun liegen von oben nach unten übereinander das alte Organ mit dem Hornstachel auf seiner Hornplatte und eine große Masse von Epithelzellen, deren oberste Partie den Rest des alten Organs, in der allmählich vor der Häutung vor sich gehenden Verhornung begriffen, darstellt, deren untere Partie je nach dem Fortschritt der Neubildung der Epidermis ein mehr oder weniger fertiggestelltes neues Sinnesorgan ist. Es hängt mit dem alten verhornenden Organ zusammen, und seine mittelsten Zellen wachsen zu einem neuen, von den seitlichen Epithelzellen umgebenen Stachel aus. Zum Schluß befindet sich in der alten, zur Abwerfung sich vorbereitenden Hautlage ein verhorntes Organ mit hartem Stachel über einem genau so gebauten Organ mit noch nicht verhorntem Stachel inmitten der Epidermis und auf der die Blutgefäße, Nerven und Nervenendzellen enthaltenden Papille.

Auf jedem dieser Organe befindet sich nur ein einziger Stachel, doch sitzen vielfach eine ganze Anzahl solcher Organe auf einer einzigen Schuppe. Mehrere dicht nebeneinander stehende Organe scheinen durch Teilung aus einem einzigen hervorgegangen zu sein, ein Verhalten, welches *Preiß* mit der Büschelbildung der Säugetierhaare aus einem Stammhaare vergleicht.

Diese Organe der Agamiden entsprechen den Tastflecken der übrigen Reptilien. Die epithelia-

len Bestandteile der Organe sind nach *Schmidt* nicht das eigentliche Sinnesorgan, sondern nur eine die Gefühlsempfindung vermittelnde Epidermisdifferenzierung, die den Reizüberträger darstellt, während das eigentliche empfindende Nervenendorgan in der Kutispapille darunter besteht. Diese Anschauung scheint richtiger zu sein als diejenige, welche in den eigentümlichen Epithelbildungen selbst das Sinnesorgan sieht. Die einfachere Differenzierung der Epidermis über den Tastflecken der übrigen Reptilien (z. B. der Krokodile, der Hatteria) ist bei den Agamiden zu dem beschriebenen hochdifferenzierten Organe umgewandelt.

Es ist in diesen Organen dasjenige enthalten, was uns bei *Maurers* Ableitung der Säugetierhaare von Sinnesorganen der Amphibien fehlte.

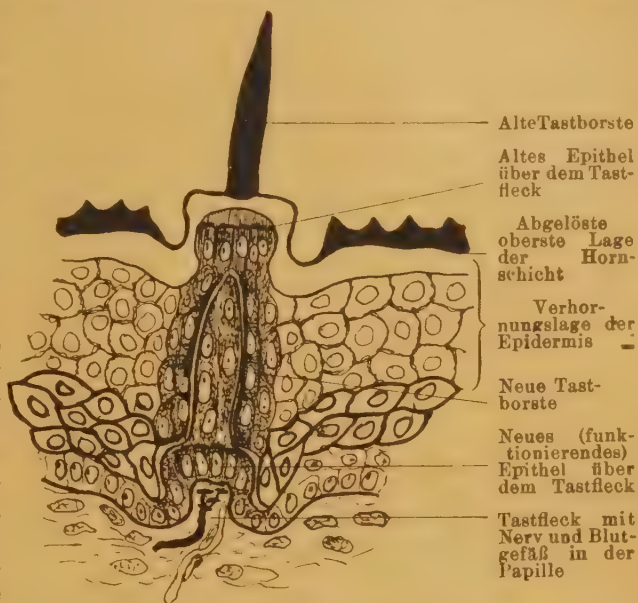


Fig. 3. Schema nach Bildern und Präparaten von *Preiß*.

Sie bilden sich auf den Schuppen der Reptilien neben den gewöhnlichen einfacher gebauten Tastflecken oder anstatt dieser aus. Sie besitzen eine außerordentliche Ähnlichkeit mit dem Haarfollikel der Säugetiere: Kutispapille von dauerndem Bestand, darüber eine zweimal im Jahre wechselnde, in besonderer Form organisierte Epithelanhäufung mit zentraler Ausbildung eines mehrzelligen langen, festen, haarartigen Gebildes. Diese Reptilienorgane sind zwar den Lateral-sinnesorganen der Amphibien und Fische ähnlich, da aber ein wirkliches Bestehenbleiben der Lateralorgane nach Wegfall der Seitennerven unwahrscheinlich ist, können wir die Reptilienorgane nicht mit diesen identifizieren. Das ist auch, trotz des ähnlichen Baues, aus dem Grunde unmöglich, weil es viel wahrscheinlicher ist, daß sie selbständig, als Neubildung, aus den einfacheren Tastflecken der übrigen Reptilien sich entwickelt haben. Morphologische Ähnlichkeit

zweier Bildungen darf niemals als Beweisgrund für ihre genetische Ableitung auseinander gelten, wenn andere Gründe die Ableitung voneinander hindern.

Bei der großen Ähnlichkeit der Agamidentastflecke mit dem Bau des Säugetierhaares besitzt die von *Preiß* ausgesprochene Anschauung große Wahrscheinlichkeit, daß wir von ihnen aus den Weg sehen, auf dem die Behaarung der Säugetiere zustande gekommen ist. Die Tastflecke der Reptilien wären nach *Preiß* als die Vorläufer des Säugetierhaares anzusehen. Die Menge der

tische Bedeutung, zumal die Reptilien, bei denen wir die haarfollikelähnlichen Bildungen kennen gelernt haben, sicher nicht auf einer Stufe des Weges sich befinden, den der Säugetierstamm bei seiner Herausbildung aus reptilienartigen Vorfahren genommen hat. Zudem fehlt bei den betrachteten Reptilienorganen vollkommen die systematische Anordnung, die Haar und Haarscheibe bei den Säugetieren zueinander besitzen, von denen die eine Bildung, nämlich die Haarscheibe, mit großer Wahrscheinlichkeit als identisch mit den Reptilientastflecken anzusehen ist.

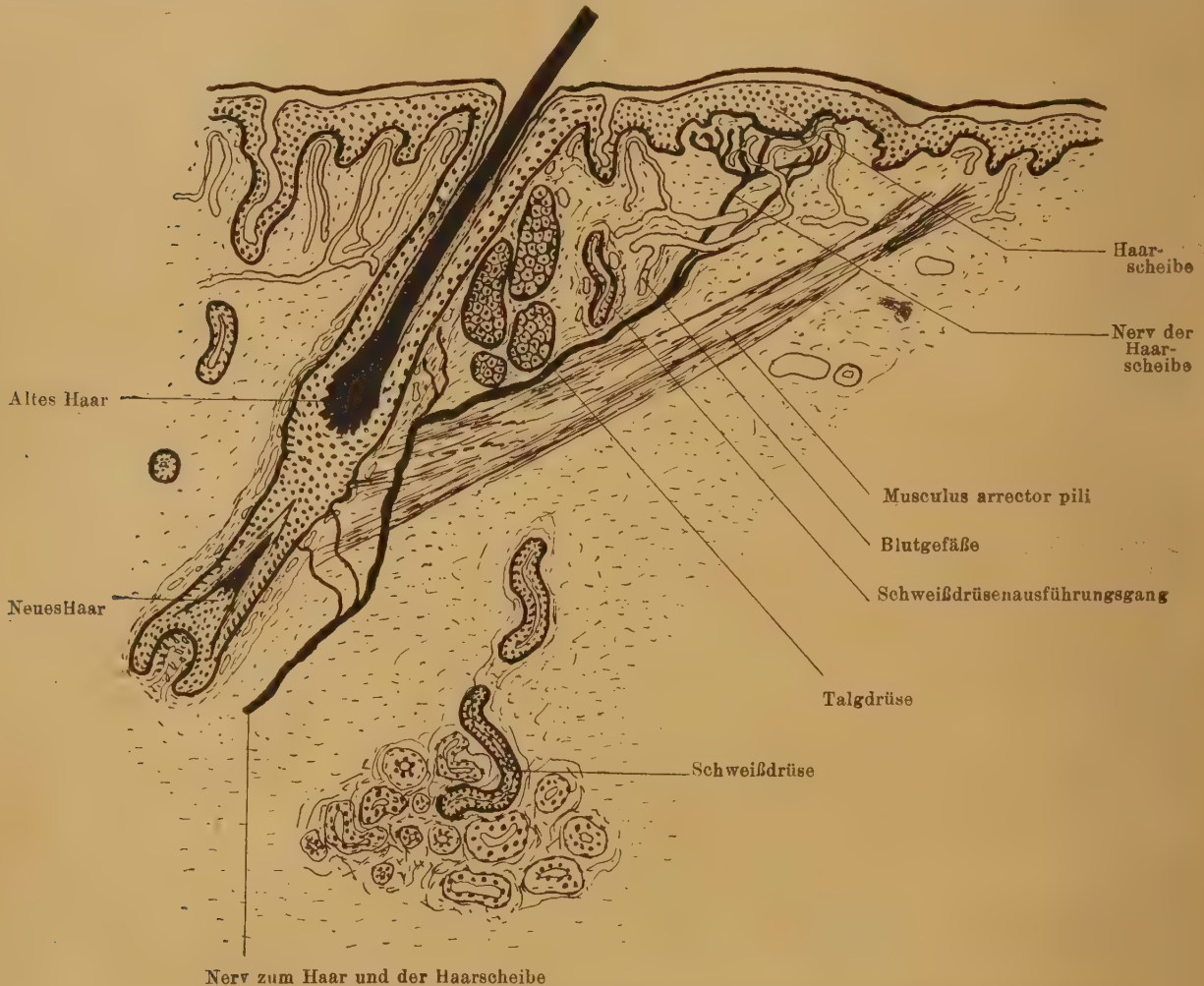


Fig. 4. Schema eines menschlichen Flaumhaarfollikels im Haarwechsel. Daneben die Haarscheibe.

Sinnesorgane beim Reptil würde vollkommen ausreichen, um auch nach dieser Richtung hin eine Parallele zu den Säugetierhaaren zu ziehen. Der menschliche Körper besitzt vom Nacken bis zum Steiß, gerade heruntergezählt, 300—400 Haarbezirke; die Agamen besitzen vom Nacken bis zum Anfang des Schwanzes 400—500 Schuppenringe. Das Vergleichsmoment der Reptilienorgane und der Haare besteht ebenfalls vornehmlich in der Ähnlichkeit des anatomischen Baues, und diese allein ist nicht ausreichend zum Führen eines ausreichenden Beweises für ihre gleiche gene-

Wenn wir eine strenge Vergleichung zwischen den haarfollikelartigen Tastflecken der Reptilien und den Säugetierhaaren zulassen wollen, dann müßte angenommen werden, daß in der Haut der Säugetiere sich zwei Differenzierungsarten der Reptilientastflecke vorfinden, und daß diese beiden sich in eigentümlicher Form aneinander angeschlossen haben; die eine Differenzierung wäre die Haarscheibe, die zweite das Haar selbst. Für die Haarscheibe dürfte der Zusammenhang mit dem Reptilientastfleck sehr wahrscheinlich sein. Für das Haar kann zunächst noch nicht



das gleiche gesagt werden. Das Haar des Säugetieres besitzt zwar sinnesorganartige Funktionen, wenigstens als Reizübermittler, ganz wie die Tastborste der Agamen, es entwickelt sich auch über einer nach seiner Abstoßung weiterbestehenden Papille, es wechselt zweimal jährlich wie das Agamentastorgan unter Neubildung auf derselben Papille. Aber seine Funktion als Reizübermittler wirkt nicht auf ein in der Papille angeordnetes Nervenendorgan, sondern auf Nervenendigungen, die in der Follikelwand selbst liegen. Alle diese Unterschiede sind keine zwingenden Gründe, um die von *Preiß* ausgesprochene Anschauung zurückzuweisen, aber sie genügen, um die Hypothese von *Preiß* noch nicht als bindend bewiesen anzusehen.

Soviel können wir aber sagen, daß wir gesehen haben, daß die Haut noch jetzt lebender Reptilien imstande ist, auf ihren Schuppen Gebilde zu schaffen, welche den Säugetierhaaren weitgehend morphologisch vergleichbar sind. Dies ist ein großer Schritt vorwärts in unserer Erkenntnis von der Entstehung des tierischen Haares.

## Die Anwendung der Interferometrie auf biologische Probleme.

Von Paul Hirsch, Jena.

Physikalisch-chemische Untersuchungsmethoden erfreuen sich auch in der Biologie in neuester Zeit einer immer größer werdenden Anwendung. Bei biologischen Untersuchungen, wo man vielfach wegen der geringen Flüssigkeitsmengen oder, allgemeiner ausgedrückt, Substanzmengen sowie wegen der Natur der in Frage kommenden Stoffe mit ganz anderen Methoden, als sie sonst dem Chemiker üblich sind, arbeiten muß, stellen sie äußerst brauchbare Untersuchungsmethoden dar, deren Anwendung sich immer mehr und mehr einbürgern wird. In den letzten Jahren hat sich die Refraktometrie unter diesen physikalisch-chemischen Verfahren ein größeres Anwendungsfeld erobert. Ich möchte an dieser Stelle einige Ausführungen über Untersuchungen machen, denen die Anwendung des Interferometers zugrunde liegt.

Die Messungen mit dem Flüssigkeitsinterferometer, das wir *F. Löwe* verdanken, und das von der Firma Carl Zeiss in Jena hergestellt wird, beruhen darauf, daß durch den Unterschied der Lichtbrechung bzw. Konzentration einer zu untersuchenden Lösung und einer Vergleichslösung Interferenzstreifen wandern. Die Haupteigenschaft des Interferometers besteht darin, daß durch eine besondere Einrichtung eine unveränderliche, normale Interferenzerscheinung, die als Nullage dient, hervorgerufen wird. Die oben erwähnte Wanderung der Interferenzstreifen läßt sich gegenüber der Nullage leicht feststellen, sie kann durch eine Kompensatoreinrichtung ausgeglichen und in ihrer Größe bestimmt werden.

Wir führen also mit dem Interferometer Differenzmessungen aus. Besonders hervorzuheben ist bei den Messungen mit dem Interferometer die Tatsache, daß das Messen mit dem Kompensator dadurch ausgezeichnet ist, daß es eine sogenannte Nullmethode darstellt. Eine Nullmethode führt erfahrungsgemäß bei den verschiedensten Beobachtern durch Ausschaltung jeglichen subjektiven Beobachtungsfehlers zu genauen und gleichmäßigen Resultaten.

Wegen der Interferometereinrichtung, Genauigkeit der Messungen sowie näheren Angaben über das ganze Interferometrieproblem, soweit physikalische Einzelheiten in Frage kommen, sei auf die am Schlusse angeführte Literatur verwiesen.

Durch die bekannten Arbeiten von *Emil Abderhalden* wissen wir, daß der tierische Organismus auf eine parenterale Zufuhr körperl. bzw. blutfremder Substanzen mit der Mobilmachung von Abwehrfermenten antwortet. Durch die Beobachtungen von *Schmorl*, *Weichardt*, *Freund* und anderen Forschern wußte man bereits, daß bei der Schwangerschaft blutfremde aber arteigene Stoffe im Blut kreisen können, die man als in die Blutbahn verschleppte Zelltrümmer von Chorionzotten ansah, und die nach *Abderhaldens* Theorie die Bildung von spezifischen auf Plazentaerweißt eingestellten Abwehrfermenten im Blute zur Folge haben mußten. Die Weiterverfolgung dieser Fragestellung ergab nun, daß nicht nur durch gelegentlich losgerissene und in die Blutbahn verschleppte Trümmer von Chorionzottenzellen die Bildung der Abwehrfermente bewirkt werden könne, sondern, daß auch Zerfallsprodukte oder Stoffwechselprodukte der Plazenta genügen, um Abwehrfermente hervorzurufen. Auf diese durch Versuche als richtig erwiesene Anschauung gründet sich die von *Abderhalden* angegebene Serodiagnostik der Schwangerschaft<sup>1)</sup>. Die ihr zugrunde liegenden Überlegungen wurden auf andere Probleme übertragen, und heute ist die *Abderhalden-Reaktion* bereits eine diagnostisch viel benutzte klinische Untersuchungsmethode bei Störungen an endokrinen Drüsen sowie bei Carcinom usw. geworden.

Zum Nachweis der Abwehrfermente standen mehrere Methoden zur Verfügung, von denen das Dialysierverfahren sowie die optische Methode die ältesten sind. Eine genaue quantitative Methode zum Nachweis der Abwehrfermente konnte ich durch Benutzung des Interferometers ausarbeiten. Sie beruht auf folgender Überlegung:

Lasse ich ein Abwehrferment enthaltendes Serum auf ein besonders dargestelltes Organsubstrat, das von den spezifischen Abwehrfermenten abgebaut wird, einwirken, so bekomme ich durch die infolge des Abbaues gebildeten und in Lösung gehenden Abbauprodukte eine Konzentrationszunahme des Serums. Diese Konzentrations-

<sup>1)</sup> Siehe *F. Heimann*, diese Zeitschrift 1, 283 (1913).

zunahme kann ich durch Messung gegen eine Probe gleichen Serums, die ohne Substratzusatz aufbewahrt wurde, mittels des Interferometers feststellen. Da nach den Gesetzen der Fermentwirkung Beziehungen zwischen der Menge des Fermentes, Menge des Substrates, Dauer der Einwirkung und Fermentwirkung bestehen, kann auf die Quantität des Fermentes bei gleicher Menge des Substrates, gleicher Einwirkungsdauer und gleicher Konzentration des Systems aus der Fermentwirkung, hier aus der Menge der gebildeten Peptone, geschlossen werden. Die Einhaltung der gleichen Einwirkungsdauer und der gleichen Konzentration bietet keine Schwierigkeiten. Größere Schwierigkeiten verursachte schon die Anwendung gleicher Mengen des Substrates, vor allem in gleichmäßiger haltbarer Form. Unsere verwandten Organe sind Trockenorgane, die nach einem besonderen Verfahren hergestellt sind und deren Brauchbarkeit im Laufe der Jahre durch viele Versuche erwiesen ist. Da die ganze Menge des betreffenden Organsubstrates auf einmal hergestellt und in Mengen von je 5 mg steril in zugeschmolzenen Ampullen aufbewahrt wird, ist nicht nur eine vollkommene Haltbarkeit, sondern auch eine vollkommene Gleichheit der zu den einzelnen Versuchen benutzten Substrate erreicht. Hierdurch wird unsere Methode zu einer *quantitativen*. Allen Anforderungen entsprechende Organsubstrate werden durch das *Pharmazeutische Institut L. W. Gans* in Oberursel a. T., das die Herstellung dankenswerterweise übernommen hat, in Handel gebracht.

Wir benutzen zu unseren Versuchen eine gemeinsam mit *Löwe* angegebene kleine Kammer, die nur wenige Tropfen Serum faßt. Hierdurch sind wir in der Lage, mit nur 0,5 ccm Serum und 5 mg Substrat pro Versuch auszukommen. Es ist durch diese kleinen Mengen ein Mikroverfahren ermöglicht, dessen Vorteile bezüglich des kleinen Serumverbrauches und der geringen Substratmengen bei schwierig gewinnbaren Organsubstraten auf der Hand liegen. Dabei bleiben die Vorteile der interferometrischen Methode als Nullmethode und als quantitative Methode voll und ganz bestehen.

In ein steriles, kleines Zentrifugengläschen wird der Inhalt (5 mg) einer Ampulle Organsubstrat gegeben. Hierzu kommen 0,5 ccm Serum, das vollkommen hämoglobinfrei, nicht chylös und steril sein muß und mit Vuzin versetzt wurde. Das Zentrifugengläschen wird mit einem sterilen Gummistopfen luftdicht verschlossen. Zwei Serumkontrollen, die als Vergleichsflüssigkeiten dienen, von 0,5 ccm ohne Substratzusatz, werden in gleicher Weise angesetzt. Sollen mehrere Organe auf Abbaumöglichkeit geprüft werden, so sind entsprechend viel Zentrifugengläschen mit je 5 mg des betreffenden Organsubstrates und je 0,5 ccm Serum anzusetzen. Die Röhrchen kommen auf genau 24 Stunden in den Brutschrank. Nach Ablauf dieser Zeit werden die noch verschlossenen Gläschen zur Wiederaufnahme des Kondenswassers umgeschüttelt, scharf zentrifugiert und die klaren Zentrifugate gleichzeitig mit einer der beiden ohne Substratzusatz aber

sonst unter gleichen Bedingungen aufbewahrten Serumprobe als Vergleichsflüssigkeit im Interferometer unter Benutzung der 1-mm-Kammer ausgemessen. Hierauf werden die beiden ohne Substratzusatz aufbewahrten Serumproben gegeneinander ausgemessen. Es darf bei dieser Messung keine Differenz festgestellt werden. Dieses Ausmessen dient zur Serumkontrolle, einmal zur Feststellung etwaiger Verdunstung und dadurch bedingter Konzentrationszunahme der Vergleichsprobe bei der Reinigung der einen Kammerhälfte, zum anderen zur Kontrolle für etwaige bakterielle Verunreinigungen.

Wir ersehen aus diesen Angaben, daß die Ausführung der interferometrischen Methode zum Nachweise der Abwehrfermente sich sehr einfach gestaltet. Einige allgemeinere Ausführungen über die interferometrische Methode bezüglich ihres Wertes als brauchbare Methode sowie über den Wert und die Bedeutung der *Abderhalden-Reaktion* an sich möchte ich anschließen.

Bekanntlich sind die Ansichten über den Wert und die Bedeutung der Abwehrfermentreaktion sehr geteilt. Ein Teil der Forscher tritt für ihre strenge Spezifität ein, während andere nach ihren Versuchen ihr jegliche Spezifität absprechen. Als Grundforderungen an jede brauchbare Methode muß man nach unserer Ansicht folgende stellen:

Sie muß bis in die kleinsten Einzelheiten ausgearbeitet sein, ihre Fehlerquellen müssen genau festgelegt werden. Alle Fehlermöglichkeiten, die der betreffenden Methode nicht zur Last geschrieben, die sie aber beeinflussen können, müssen genau studiert werden, um sie, wenn irgend möglich, auszuschalten. Durch eingehende Untersuchung mit meinen Mitarbeitern bin ich allen Fehlerquellen und -möglichkeiten der interferometrischen Methode nachgegangen. Es konnte festgestellt werden, daß die Fehlerquellen derartig klein sind, daß man sie vollständig vernachlässigen kann. Andererseits konnten wir aber auch zeigen, daß unspezifische Reaktionen bei sonst einwandfreier Methodik durch bakterielle Verunreinigungen der Serumproben möglich sind. Dieses ist meines Erachtens die Ursache aller Fehlschläge der Gegner der *Abderhalden-Reaktion*. Als Abwehrmaßnahme gegenüber derartigen Fehlerquellen wurde die Anwendung eines gut wirkenden Desinfektionsmittels eingeführt. Wir setzen zu den vollkommen hämoglobinfreien Serumproben Vuzin bihydrochloricum in einer solchen Menge zu, daß eine Vuzinkonzentration 1:10 000 erhalten wird. Durch diese Maßnahme ist man in die Lage versetzt, auch von auswärts zugehende Serumproben auf Abwehrfermente zu untersuchen. Trotz tagelangen Transportes kommen sie in tadelloser Beschaffenheit an.

Von verschiedenen Seiten wurde behauptet, daß eine Autolyse des Serums einen Abbau vortäuschen kann. Wir haben über die Möglichkeit einer Serumautolyse eingehende Untersuchungen angestellt. Man muß es auf Grund unserer Versuche als sicher annehmen, daß eine Serumauto-



lyse sich in einer Änderung des Refraktions- und Dispersionsvermögens bemerkbar gemacht hätte. Wir konnten bei steril aufbewahrten Serumproben keine Änderung der Refraktion und der Dispersion feststellen. Als andere allgemein bei Abwehrfermentuntersuchungen in Betracht zu ziehende Fehlerquelle wird das zuerst von *Plaut* beschriebene Adsorptionsphänomen angegeben. *Abderhalden* hat jüngst erst die Unhaltbarkeit des Plautschen Einwandes wiederum festgestellt. Er bediente sich dazu auch des Interferometers. Auch ich hatte schon früher darauf hingewiesen, daß die Möglichkeit von Adsorptionserscheinungen die Brauchbarkeit der interferometrischen Methode zum Studium der Abwehrfermente vollkommen illusorisch machen würde. Bringt man beispielsweise Serum einer nicht Schwangeren mit Plazenta-eiweiß zusammen und untersucht es in der oben angegebenen Weise, so wird nie die Spur eines Abbaues festgestellt werden. Eine Adsorption müßte sich unter allen Umständen in einer Verschiebung der Interferenzstreifen erkennen lassen. Bringt man Serum mit einer größeren Menge eines kräftigen Adsorbens wie Koalin zusammen, so bekommt man selbstverständlich durch die eingetretene Adsorption eine Abnahme der Serumkonzentration, die sich in einer Verschiebung der Interferenzstreifen zeigt. Ich möchte auch an dieser Stelle bemerken, daß sich eine bakterielle Verunreinigung des Serums immer an einer Konzentrationsverminderung, d. h. an einer Verschiebung der Interferenzstreifen nach der negativen Seite erkennen läßt.

Quantitative Untersuchungen auf Abwehrfermente sind für den Arzt von größter Bedeutung. Besonders wertvoll haben sie sich bei Erkrankungen an endokrinen Drüsen gezeigt, da bei solchen Erkrankungen Korrelationen zwischen den einzelnen endokrinen Drüsen bestehen. So ist man z. B. bei Fettsucht instandgesetzt, festzustellen, ob die Fettsucht hypophysären, thyreogenen oder genitalen Ursprungs ist. Auch die Untersuchung der Organabbauverhältnisse bei Hauterkrankungen verspricht zu interessanten Ergebnissen bei Anwendung der quantitativen interferometrischen Methode zu führen, da wir nach den Untersuchungen von *Marburg*, *Brock*, *Bloch* und anderen bereits über Beziehungen der Drüsen mit innerer Sekretion zu Hautkrankheiten wertvolle Einblicke besitzen. Die ganze Behandlung von Insuffizienz endokriner Drüsen mit Organpräparaten wird durch solche Abwehrfermentuntersuchungen eine wissenschaftlich exakte Grundlage für eine zielbewußte Therapie erhalten. Das Studium der Erkrankungen endokriner Drüsen ist noch im Anfangsstadium. Wir müssen unsere Untersuchungen auf Abwehrfermente nicht nur allein an Kranken ausführen, sondern wir müssen auch das Serum von Gesunden auf die Abbauverhältnisse studieren. Viele als normal zu bezeichnende Vorgänge, wie Menstruation z. B., spiegeln sich in einer Beeinflussung der

endokrinen Drüsen wieder und bewirken einen Abbau. Die Drüsen der inneren Sekretion werden manchmal dysfunktionieren, ohne daß eine Anomalität vorliegt. Es muß erst die Höhe des „normalen“ Abbaues festgelegt werden, damit wir Normalzahlen gewinnen. Hierzu eignet sich nur eine quantitative Methode. Der Wert der *Abderhalden*-Reaktion wird hierdurch in keiner Weise beeinträchtigt.

Bei pathologischen Fällen müssen wir bei Abwehrfermentuntersuchungen auch das Vorhanden- oder Nichtvorhandensein von Fieber in Rechnung ziehen, da bei Fieber sicher Protoplasma von Körperzellen zerstört wird und hierdurch Bedingungen gegeben sind, die zur Mobilmachung von Abwehrfermenten führen. Ebenso muß die medikamentöse Therapie berücksichtigt werden (s. hier weiter unten).

Untersuchungen auf Abwehrfermente bei Infektionskrankheiten, auf größerer Basis angestellt, versprechen zu interessanten Ergebnissen zu führen. Im allgemeinen ist hier bezüglich der Abwehrfermente mit zwei Möglichkeiten zu rechnen: Die Abwehrfermente können einmal gegen die betreffenden Krankheitserreger, zum anderen gegen das bzw. die erkrankten Organe gerichtet sein. Wegen der gegen die erkrankten Organe gerichteten Abwehrfermente sind folgende Punkte zu erörtern: Die Abwehrfermente können gegen das erkrankte, d. h. pathologisch veränderte Organ gerichtet sein. Sie können aber auch auf das entsprechende normale Organ eingestellt sein. Auch eine Kombination in der Art, daß sowohl das pathologische Organ, als auch das normale Organ abgebaut wird, ist denkbar. Z. B. kann ein tuberkulöser Herd in einem Organ die anderen an sich ungeschädigten Organzellen derartig beeinflussen, daß diese anormale Stoffwechselprodukte an die Blutbahnen abgeben. Diese Stoffwechselprodukte wie auch der pathologische Herd veranlassen nun die Bildung spezifischer Abwehrfermente, die ihrerseits normales als auch krankhaft verändertes Organ abbauen.

Wir haben zunächst erst Untersuchungen mit der Abwehrfermentreaktion bei Rindertuberkulose angestellt. Wir haben gerade die Rindertuberkulose gewählt, weil wir einerseits in der Lage waren, sämtliche Befunde durch die Schlachtung zu kontrollieren. Andererseits verfügten wir hier in S.-W.-Eisenach über Fälle, die nach dem *Ostertagschen* Verfahren untersucht waren. Wir hatten auch hierdurch die Möglichkeit, die Ergebnisse, die die Untersuchung mittels der interferometrischen Methode zum Studium der Abwehrfermente lieferte, dem diagnostisch verwandten *Ostertagschen* Verfahren gegenüberzustellen.

Die zur Kontrolle mit untersuchten normalen Tiere zeigten mit einer Ausnahme keinerlei Abbau irgendeines der vorgelegten Substrate. Von den kranken, aber nicht tuberkulösen Tieren

zeigte eins an Metritis chronica erkranktes keinen Abbau. Eine am Festliegen erkrankte Kuh ergab nur Abbau von Milz. Der Schlachtfund ergab, daß eine Milzschwellung vorhanden war. Eine Kuh, bei der der Schlachtfund verkäste Echinokokken ergeben hatte, zeigte im Abbaubersuch nur Abbau von normaler Lunge. Tuberkulöse Lungenlymphdrüse und normale Lungenlymphdrüse waren nicht angegriffen worden.

Die untersuchten tuberkulösen Tiere zeigten alle einen spezifischen Abbau. Von einem Vergleich zwischen der Größe des Abbaues des betreffenden Organsubstrates und dem Alter und Umfang des tuberkulösen Prozesses zu ziehen, möchten wir vorläufig noch absehen, da unser Material noch zu gering ist, um zu derartigen Schlußfolgerungen berechtigt zu sein. Die Ergebnisse standen mit dem Schlachtfund in sehr gutem Einklang. Wir sehen sie als eine wertvolle Unterstützung für die Richtigkeit der behaupteten Spezifität der Abwehrfermente an. Eine weitere Verfolgung des angeschnittenen Problems an einem größeren Material wird sicher zu interessanten Resultaten führen, die für den Mediziner von Bedeutung sein werden.

Wir hatten oben erwähnt, daß die *Abderhalden-Reaktion* anfänglich zur frühzeitigen Feststellung der Schwangerschaft benutzt wurde. Wir haben auch mit der interferometrischen Methode diesbezügliche Untersuchungen angestellt und in einer größeren Versuchsreihe einen frühzeitigen Trächtigkeitsnachweis bei Pferden zu stellen versucht. Gerade hier ist die frühzeitige Feststellung der Trächtigkeit von größter volkswirtschaftlicher und züchterischer Bedeutung. In Deutschland ist der Pferdebestand durch den Krieg um etwa  $\frac{1}{2}$  des Friedensbestandes zurückgegangen. Er hat aber außerdem auch noch eine sehr starke Qualitätsentwertung erfahren und unser wertvolleres durch den Krieg herüber gerettetes Zuchtmaterial haben wir noch an die Entente abliefern müssen. Da außerdem wegen des schlechten Standes unserer Valuta an eine nennenswerte Einfuhr von Pferden nicht zu denken ist, dürfte es wohl verständlich erscheinen, wenn von seiten unserer Pferdezüchter alle Anstrengungen gemacht werden, unsere Pferdezucht zu heben. Ein hier günstig wirkendes Moment wäre es, wenn die Möglichkeit vorhanden wäre, früher als mit den bisherigen klinischen Methoden oder durch äußere Trächtigkeitsanzeichen möglich ist, über den Erfolg oder Nichterfolg des Deckaktes unterrichtet zu sein. Durchschnittlich bleiben nach tierzüchterischer Darstellung etwa 40 % der Stuten unbefruchtet. Die mittels der interferometrischen Methode angestellten Untersuchungen ergaben, daß man nichtträchtige Stuten von den trächtigen unterscheiden kann. Es ist eine Graviditätsdiagnose bei Stuten in einem sehr frühen Trächtigkeitsstadium möglich. Es gelang, vom 14. Tage nach dem erfolgreichen Belegen ab, die ganze Gestationsperiode hindurch

spezifische, auf Plazentaeiweiß eingestellte Abwehrfermente im Serum der Stuten nachzuweisen.

Auch in theoretischer Beziehung sind diese Untersuchungen insofern wichtig, als die Pferde eine Plazenta foetalis diffusa besitzen, deren Blutkreislaufverhältnisse eine Verschleppung von Zottenepithel unmöglich machen. Hierdurch ist die eingangs erwähnte Möglichkeit der Bildung von Abwehrfermenten durch Zerfallsprodukte oder Stoffwechselprodukte der Plazenta sichergestellt.

Quantitative Untersuchungen auf Abwehrfermente werden auch für den Chemiker eine Bedeutung erlangen. Wir wissen, daß durch bestimmte Gruppen einer chemischen Verbindung in bezug auf ihre pharmakologischen Eigenschaften ein bestimmtes Gepräge gegeben werden kann. Gerade in den letzten Jahren konnte *Ehrlich* zeigen, daß durch systematische Untersuchungen Heilmittel ausfindig gemacht werden können, die sich als spezifisch gegen die Krankheitserreger gerichtet erweisen. Der Chemiker muß in der Art chemisch zielen lernen, daß das Arzneimittel nur die krankheitserregenden Schädlinge trifft, nicht aber Körperorgane schädigt. Untersuchungen zeigten nun, daß sich etwaige Organschädigungen durch Medikamente durch auf die betreffenden Organe eingestellte Abwehrfermente erkennen lassen. Es geben nun quantitative Methoden zum Studium der Abwehrfermente dem Chemiker ein weiteres Mittel, zu prüfen, ob der von ihm dargestellte chemische Körper auch wirklich eine Zauberkugel im Sinne *Ehrlichs* darstellt, die eine Organschädigung nicht verursacht oder wenigstens nicht allzu groß erscheinen läßt. Auch bei der Prüfung nicht speziell chemotherapeutischer Präparate, ich denke hier an Schlafmittel, wird eine genaue quantitative Untersuchung auf etwaige beim Gebrauch auftretende Abwehrfermente für den Chemiker von Wichtigkeit sein. Man wird durch vergleichende Untersuchungen im Tierexperiment vielleicht organschädigende Gruppen erkennen und derartige Gruppen bei den Synthesen vermeiden.

Die oben kurz erwähnten Einwände von *Plaut* haben Veranlassung gegeben, die Frage zu untersuchen, ob es sich bei der *Abderhalden-Reaktion* um einen wirklichen fermentativen Prozeß handelt. Durch die verschiedenen von *Abderhalden* angegebenen Methoden zur Untersuchung eines Serums auf Abwehrfermente war eigentlich diese Frage bereits entschieden: Die optische Methode weist Drehungsänderungen von Peptonen durch fermentative Spaltung nach. Mittels des Dialysierverfahrens weist man die semipermeable Membranen passierenden, löslichen Abbauprodukte koagulierter Organsubstrate im Dialysat durch die Biuretprobe oder durch Ninhydrin nach. Der Mikro-Kjeldahl läßt den Abbau der Organsubstrate durch Stickstoffbestimmungen im Dialysat erkennen. Alle diese Ergebnisse sprachen



bereits für die bei der Abderhalden-Reaktion auftretenden Spaltungen durch die Abwehrfermente. Einen sicheren Beweis für die fermentative Natur der Vorgänge bei der Abderhalden-Reaktion konnte in jüngster Zeit *Abderhalden* dadurch bringen, daß er den Abbau dünner Schnitte durch Organe mittels des Mikroskopes direkt beobachten und photographisch festhalten konnte. Ich kann die Richtigkeit dieser Befunde bestätigen.

Schon bald nach dem Bekanntwerden der Abderhalden-Reaktion hat man versucht, Beziehungen zwischen ihr und den Immunitätsreaktionen festzustellen. Die ersten diesbezüglichen Untersuchungen zielten darauf hin, etwas Genaueres über die Natur der bei der Abderhalden-Reaktion wirkenden Kräfte zu erfahren. Mit Rücksicht auf die Immunitätsreaktionen schrieb man den „Abwehrfermenten“ eine Ambozeptorstruktur zu. Man glaubte inaktivierte Sera durch Komplementzusatz reaktivieren zu können. Es liegen über diese Frage eine Reihe widersprechender Beobachtungen vor. Wir vermögen an die Ambozeptornatur der Abwehrfermente nicht zu glauben und sehen in ihrer Einführung nur eine unnötige Komplizierung der Abwehrfermentreaktion. Eine Spontaninaktivierung eines Abwehrferments enthaltenden Serums durch Stehenlassen des Serums, also durch längere Aufbewahrung, konnten wir nie beobachten. Ein Komplementschwund tritt bekanntlich schon nach 24 Stunden ein, falls man nicht das Serum in gefrorenem Zustande aufhebt. Nun gelangen häufig Sera dieser Untersuchung auf Abwehrfermente, die von auswärts eingesandt werden, erst tagelang nach der Blutentnahme zur Untersuchung, und niemals ließ sich irgendein Zusammenhang zwischen Komplementschwund und Abwehrfermentwirkung feststellen. Ein Serum, das im Jahre 1914 durch Injektion von Uteruskarzinom (Plattenepithel) bei einem Kaninchen gewonnen wurde, baute nach zwölfmonatlicher Aufbewahrung das betreffende Substrat noch in gleichem Maße ab, wie es kurz nach der Entnahme abgebaut hatte. Zu gleichen Resultaten ist auch *Abderhalden* gekommen.

Eine nicht zu unterschätzende Bedeutung kommt der Frage nach der Anwendbarkeit „tierischer“ Organe bei Untersuchungen auf Abwehrfermente in der Humanmedizin zu. Bei der Schwierigkeit der Beschaffung menschlicher Organe in größeren Mengen (Epithelkörperchen, Epiphysen, Hypophysen z. B.) wäre es sehr erwünscht, wenn tierische Organe in gleicher Weise wie menschliche Organe zu unseren Versuchen benutzt werden könnten. Auf Grund einer größeren Reihe von diesbezüglichen Untersuchungen kann ich die „Organspezifität“ der Abwehrfermente bestätigen. Es ist qualitativ ganz gleichgültig, ob wir eine menschliche oder tierische Plazenta mit menschlichem Schwangerserum auf Abbau prüfen: Nur Serum einer Schwangeren baut Plazenta ab, quantitativ bestehen allerdings in der Größe des Abbaues

Unterschiede. Meine Versuche sind noch nicht zahlreich genug, um festzustellen, ob etwa Beziehungen zwischen Größe des Abbaues und Nähe der Verwandtschaft der Arten bestehen. Eine gewisse Beziehung zwischen unserer Feststellung, daß auch tierische Organe zu Abbauprüfungen mit menschlichem Serum brauchbar sind, und Beobachtungen, daß nach Behandlung von Tollwut mit Rückenmark tollwütiger Kaninchen häufig Myelitiden auftreten (nach *Joannovics* werden durch Rückenmarkinjektionen Reaktionskörper erzeugt, deren spezifische Wirkung zum Auftreten der Myelitiden führt), besteht doch wohl unzweifelhaft.

Das von *Abderhalden* aufgestellte neue biologische Gesetz der Organspezifität, das nach unseren Versuchen bereits eine gewisse Bestätigung gefunden hat, läßt sich auch auf Grund theoretisch-eiweißchemischer Betrachtungen erklären: In der letzten Zeit sind Arbeiten von *Herzfeld* und *Klinger* über ähnliche Betrachtungen erschienen. Wenn ich auch meine vollkommene Übereinstimmung mit den Ansichten dieser Autoren nicht erklären kann, ich stehe im Gegenteil in vielen Punkten auf einem ganz anderen Standpunkt, so ist doch eine gewisse Ähnlichkeit in mancher Beziehung vielleicht festzustellen. Ich stehe auf dem Standpunkt der Nägelschen Theorie der kristallinen Mizelle, die in den letzten Jahren manche Anhänger gefunden, die aber noch mehr Gegner hat. Aus verschiedenen Gründen ist anzunehmen, daß sowohl von den Anhängern als auch von den Gegnern mancher die grundlegenden Arbeiten *Nägels* nicht genügend kennt. Diese Theorie ist durch Untersuchungen von *H. Ambronn* und seinen Schülern in dem Institut für wissenschaftliche Mikroskopie in Jena wenigstens für Zellulose und ihre Nitroderivate nach der physikalisch-optischen Seite hin bestätigt worden. Auf der anderen Seite haben Untersuchungen von *Debye* und *Scherrer* die Kristallnatur von Kolloidteilchen, nicht bloß bei kolloiden Metallen, sondern auch bei Kieselsäuregelen und selbst bei organisierten Kolloiden (Stärkekörnern, Zellulosefasern usw.) ergeben. Neuere Untersuchungen von *Herzog* und *Jancke* haben diese Befunde bestätigt und auch für organisierte Materie erweitert. Auch die Untersuchungen *Stübels* über die erste eintretende Fibrinbildung aus Fibrinogen bei der Gerinnung haben die Kristallnatur der ersten fadenförmigen Ausscheidungen so gut wie sichergestellt und können somit auch als wichtige Stütze der Nägelschen Mizellartheorie angesehen werden.

Wir müssen uns wohl das Protoplasma aus Komplexen von Eiweiß-, Kohlenhydrat- und Lipoidmizellarverbänden aufgebaut vorstellen. Eine derartige Annahme steht mit unserer heutigen Ansicht, daß das Protoplasma ein kompliziertes, chemisch-heterogenes System nebeneinander bestehender Phasen (*Zwaardemaker*) darstellt, nicht im Widerspruch. Wir können auf

Grund der *Nägelischen* Anschauungen uns vorstellen, daß mehrere Eiweißmizelle untereinander von verschiedener chemischer Konstitution, zu Eiweißmizellarverbänden zusammengetreten sind. Es können auch verschiedene Eiweißmoleküle zu Eiweißmizellen zusammentreten, ebenso können auch die verschiedenen Mizelle eines Mizellarverbandes untereinander verschiedene Größe und verschiedenen Aufbau besitzen. Ferner können auch die verschiedenartigsten Mizelle oder auch Mizellarverbände — also z. B. Eiweiß, Kohlenhydrate, Fette, Lipoiden usw. — zu einem größeren Mizellarverband — Protoplasma — zusammentreten. Wir sehen also, daß die *Nägelische* Theorie mit unseren heutigen Anschauungen über die Heterogenität des Protoplasmas nicht im Widerspruch steht. Daß sie die Anschauungen über den Bau des Eiweißmoleküls usw. nicht berührt, ist klar, denn sie hat ja mit dem chemischen Aufbau nichts zu tun, da das Mizell ein Molekülverband, die Mizelle Molekülverbände sind. Dadurch wird die Mannigfaltigkeit der Eiweißkörper z. B. noch erhöht, da im Eiweißmizell viele Eiweißmoleküle in chemischem Sinne vorhanden sind.

Wenn wir uns nun vorstellen, daß der Baustein — hier Baustein nicht im Sinne *Abderhaldens* — der Eiweißmizellarverbände das art-eigene Eiweißmizell ist, so können wir es uns auf Grund dieser Annahme sehr gut denken, daß aus arteigenen und vielleicht auch außerdem aus nicht artspezifischen Mizellen die organeigenen Eiweißbausteine — Organeiweißmizellarverbände — aufgebaut sind. Die Organeiweiße können nun untereinander, d. h. die Organeiweiße verschiedener Arten, aber ein und desselben Organs, einen derartig gleichartigen Aufbau besitzen, daß sie von darauf eingestellten Fermenten (organspezifischen Fermenten) aufgespalten werden. Daß wir bezüglich des Aufbaues einzelner Organe verschiedener Arten eine gewisse Ähnlichkeit in chemischer Beziehung wohl annehmen dürfen, geht wohl aus ihrem ähnlichen histologischen Aufbau, und aus ihren ähnlichen Funktionen hervor. Bei der Koagulation, der physikalischen Zustandsänderung (Überführung hydrophiler Kolloide in hydrophobe) ist es wohl denkbar, daß das Gefüge der Mizellarverbände (Mizelle in dem Mizellarverband) so gefestigt wird, daß die artspezifischen Antikörper vom Typus der Präzipitine das arteigene Eiweißmizell nicht mehr fassen können. Das Präzipitin ist bezüglich seiner Wirkung an einen ganz bestimmten physikalischen Zustand des Antigens gebunden. Die organspezifischen Abwehrfermente stellen andere Anforderungen an den physikalischen Zustand des Substrates.

Die interferometrische Methode zum Nachweis der Abwehrfermente beruht, wie oben angegeben, darauf, daß die Konzentrationszunahme, die das Serum durch die Auflösung der beim fermentativen Abbau der Trockenorgane gebil-

deten Peptone erleidet, mittels des Interferometers festgestellt wird. Ich konnte zeigen, daß man auch den Abbau eines Organpeptones, das durch partielle Hydrolyse des betreffenden Organes gewonnen wird, mittels des Interferometers nachweisen kann. Hier liegen die Verhältnisse so, daß durch die fermentative Spaltung eine Hydrolyse eintritt. Unter Aufnahme eines Moleküls Wasser wird die Bindung zwischen zwei Molekülen Aminosäuren aufgespalten. Es war schon vor längerer Zeit von *Obermayer* und *Pick* nachgewiesen worden, daß durch tryptische Verdauung der Brechungsindex des Verdauungsgemisches erhöht wird. Fermente wie Emulsin, Diastase und Pepsin lassen das Refraktionsvermögen für Natriumlicht unbeeinflusst, während Bakterien es vermindern. Die Befunde von *Obermayer* und *Pick* bezüglich des Trypsins und Pepsins konnte ich bestätigen. Ließ ich z. B. Pepsin auf Serumeiweiß einwirken, so fand ich ebenfalls, daß sich das Brechungsvermögen für Natriumlicht in keiner Weise änderte. Ich habe nun die Bestimmung auch für das rote und blaue Licht des Wasserstoffspektrums ausgeführt und gefunden, daß sich für Licht dieser Wellenlängen das Brechungsvermögen ändert. Ich glaube, diese Erscheinung so erklären zu dürfen, daß durch die Wirkung des Pepsins im Eiweißmolekül vorhandene Anhydridringe aufgespalten werden, eine Annahme, zu der auch *Plimmer* neigt. Diese Ausspaltung verursacht wohl eine konstitutive Änderung des Eiweißmoleküls, die auch eine völlige Änderung seiner Eigenschaften (Koagulationsvermögen) bewirkt. Aber diese Änderung ist so geringfügig in bezug auf die große Molekulargröße der Eiweißkörper, daß sie keine mit unseren Apparaten meßbare Änderung des Brechungsvermögens für Natriumlicht hervorruft. Dagegen ist die Änderung der Dispersion so groß, daß wir sie feststellen können. Auch mittels des Interferometers konnte keine Änderung der Refraktion durch Pepsinwirkung beobachtet werden. Bei einer tryptischen Verdauung konnten wir in Übereinstimmung mit *Obermayer* und *Pick* eine Änderung des Brechungsvermögens sowohl mittels des Refraktometers als auch mittels des Interferometers nachweisen. Es war wohl anzunehmen, daß die hydrolytische Spaltung des verdauten Eiweißkörpers die Ursache der Refraktionserhöhung ist. Ein exakter Beweis für diese Annahme war noch nicht erbracht. Die klassische Spektrochemie hat den Beweis erbracht, zu welchen Erfolgen eine systematische Untersuchung organischer Körper führen kann. Planmäßige Untersuchungen an Aminosäuren und Polypeptiden ließen uns einen zahlenmäßigen Wert für den Einfluß finden, den die Aufnahme eines Moleküls Wasser bei der hydrolytischen Spaltung eines Dipeptides auf das Brechungsvermögen ausübt. Weitere Untersuchungen an Polypeptiden machten uns mit dem Einfluß der Aufnahme von mehreren Molekülen



Wasser bei der Spaltung auf das Refraktionsvermögen bekannt und zeigten, daß dieser Einfluß additiv ist. Wir konnten ein direktes Maß für die Größe einer Spaltung durch Fermente erhalten. Die ersten Versuche haben wir hier mittels des *Pulfrichschen* Refraktometers ausgeführt, und es wurde festgestellt, daß die beobachteten Werte mit den rechnerisch ermittelten gute Übereinstimmung zeigten. Wir haben dann unsere Untersuchungen auf das Interferometer ausgedehnt. Durch Schaffung des Begriffes des Molekularen-Interferometerwertes konnten wir auch für das Interferometer einen zahlenmäßigen Wert, ausgedrückt in Trommelteildifferenzen, für eine bestimmte Flüssigkeitsschichtdicke (Kammerlänge) für den Einfluß der Aufnahme eines Moleküls Wasser bei einer Spaltung durch Fermente erhalten. Durch diese Untersuchungen haben wir ein direktes Maß für die Größe einer fermentativen Spaltung, mit anderen Worten, für die Wirksamkeit eines Fermentes gewonnen. Diese Resultate werden wir auch auf Konstitutionsfragen auf eiweißchemischem Gebiete übertragen können und unter gewissen Umständen die Anzahl von Aminosäuren feststellen können, aus denen ein Eiweißkörper zusammengesetzt ist.

Die eben angeführten Untersuchungen haben uns zu weiteren Arbeiten über die Interferometrie veranlaßt. Genau so wie man bezüglich der Refraktion zahlenmäßige Werte für den Einfluß bestimmter Atome und Atomgruppierungen aufgefunden hat, konnten wir derartige Werte für den Einfluß auf die Interferometerwerte (molekularer Interferometerwert) feststellen.

Zu Untersuchungen über den Einfluß von modernen Desinfektionsmitteln auf die Pepsinwirkung haben wir eine Methode unter Benutzung des Interferometers ausgearbeitet. Hier sind einige wichtige Punkte zu berücksichtigen: Nach unseren heutigen Kenntnissen entfaltet jedes Ferment seine Optimalwirkung bei einer bestimmten Wasserstoffionenkonzentration. Es muß also die Versuchsanordnung so getroffen werden, daß diese Wasserstoffzahl während des ganzen Versuches erhalten bleibt; dies können wir durch Anwendung von sogenannten Reaktionsregulatoren (Puffer), z. B. Mischungen von Citratsalzsäure in bestimmtem Verhältnis, erreichen. Häufig führen wir Fermentversuche in der Art aus, daß aus der Menge der gebildeten Abbauprodukte auf die Fermentwirkung geschlossen wird. Beispielsweise nimmt man eine bestimmte Menge Casein als Caseinnatrium in Lösung und flockt nach einer bestimmten Zeit der Fermenteinwirkung das unverdaute Casein durch Säurezusatz aus. Zur vollkommenen Ausflockung des Caseins ist wiederum eine ganz bestimmte Wasserstoffionenkonzentration erforderlich. Wir sehen also, daß wir bei genauen diesbezüglichen Versuchen zwei Forderungen erfüllen müssen: Einmal muß die Wirkung des Fermentes bei einer für das betreffende Ferment bestimmten

und konstanten Wasserstoffionenkonzentration vor sich gehen, und dann muß die Ausflockung des unverdauten Eiweißes wiederum bei der Wasserstoffionenkonzentration vorgenommen werden, bei der der als Substrat benutzte Eiweißkörper sein Flockungsoptimum hat. Diese Punkte erfüllt unsere Methode zur Bestimmung der Pepsinwirkung.

Derartige Bestimmungsmethoden, die zu genau reproduzierbaren Werten führen, haben nicht nur ein wissenschaftliches Interesse, sondern sie haben auch eine gewisse praktische Bedeutung heute, wo die biologischen Arbeitsverfahren sich immer mehr in der Technik einbürgern.

Oben wurde erwähnt, daß wir bei unseren Untersuchungen auf Abwehrfermente das Vuzin als Desinfektionsmittel verwenden. Wir hatten uns selbstverständlich durch eingehende Untersuchungen von der Unschädlichkeit des Vuzins den Fermenten gegenüber überzeugt. Zu diesen Untersuchungen bedienten wir uns ebenfalls der eben skizzierten Methode.

Es wurde schon kurz angeführt, daß man versucht hat, Beziehungen zwischen der *Abderhalden-Reaktion* und den Immunitätsreaktionen festzustellen. Wir haben schon vor längerer Zeit begonnen, immunochemische Studien mittels physikalisch-chemischer Methoden anzustellen. Hierzu haben wir uns zunächst wiederum refraktometrischer Messungen bedient und besonders das Interferometer angewandt.

Eine messende Verfolgung des Phänomens der spezifischen Präzipitation hat schon sehr bald nach der Entdeckung eingesetzt, hoffte man doch dadurch unter anderem auch einen Einblick in das Wesen dieser Reaktion zu gewinnen. Wir haben eine größere Reihe von Untersuchungen über diese spezifische Niederschlagsbildung durch Antisera angestellt.

Auf Grund von Vorversuchen, in denen besonders die Änderungen der Refraktion und der Wasserstoffionenkonzentration, die mit dem Präzipitationsvorgang einhergehen, messend verfolgt wurden, haben wir uns folgende Arbeitshypothese aufgestellt:

Die Präzipitation an sich ist ein rein kolloidchemischer Prozeß, welcher sich vollzieht als eine Folge einer Änderung der Wasserstoffionenkonzentration in einem kolloidalen System, wie es unser Gemisch von Immunserum und Antigen darstellt. Diese Änderung entsteht dadurch, daß im Immunserum Fermente (Abwehrfermente) vorhanden sind, die die Eiweißkörper (Albumine) des Antigens abbauen. Die Änderung (Vermehrung) der Wasserstoffionenkonzentration zeigt am ehesten eine Wirkung auf die dafür besonders empfindlichen Globuline, die Ausflockung zeigen. Der Kern des ganzen Vorganges ist also die chemische, fermentative Spaltung von artfremden Proteinen, während die spezifische Ausflockung geradezu als Folge, als „Nebenwirkung“ erscheint.

Da sich in dem Gemisch Antigen-Immunserum gleichzeitig oder nacheinander mehrere Prozesse vollziehen, von denen der eine (Spaltung der Eiweißmoleküle) eine Vermehrung, der andere dagegen (Ausfall des Präzipitates) eine Verminderung der Refraktion bewirkt, so braucht nicht der Brechungsindex des Serumgemisches nach der Präzipitation unter allen Umständen eine Abnahme zu zeigen. Es sind vielmehr drei Fälle denkbar und auch möglich, wie die Versuche ergaben:

1. Die Refraktionsvermehrung (Folge der fermentativen Spaltung) ist größer als die Verminderung (Folge des Ausfällens des Präzipitates), dann bekommen wir Zunahme der Refraktion;
2. die Refraktionsvermehrung ist gleich der Verminderung, dann bleibt die Refraktion unverändert;
3. die Vermehrung ist kleiner als die durch Ausflockung bedingte Verminderung, dann sinkt der Brechungsindex.

Es folgt also, daß eine etwaige Abnahme der Refraktion keinesfalls als Maß für die Größe des Präzipitates angesehen werden darf.

Bei ausgeführten Versuchen über die spezifische Präzipitation von Menschen bzw. Pferdeserum durch das korrespondierende Immunserum haben wir durch eine teilweise Zerlegung der miteinander reagierenden Bestandteile des Antigens und des Immunserums und durch Berechnung der auf die einzelnen Komponenten (Kochsalz, „unlösliches Globulin“, Gesamteiweiß, Gesamteiweiß ohne „unlösliches Globulin“, Nichteiweißbestandteile des Serums) entfallenden Anteile an der Refraktion sowie durch Bestimmung der „Größe des Präzipitates“ durch Auflösen des ausgewaschenen Präzipitates in verdünnter Natronlauge und Bestimmung seines Refraktionswertes versucht, einen tieferen Einblick in das Wesen der Präzipitinreaktion zu erlangen. Hierzu dienen besondere Methoden.

Die eben kurz angedeuteten Zerlegungen des Antiserums bzw. des Antigens in die einzelnen Komponenten haben wir noch weiter geführt, dadurch, daß wir auch noch den Gehalt an Gesamtglobulin bestimmt haben. Durch diese Bestimmungen, die ebenfalls mittels des Interferometers ausgeführt wurden, konnten wir auch noch den Gehalt an Albumin feststellen.

Aus unseren bisherigen Versuchen können noch keine bindenden Schlüsse gezogen werden. Das angeschnittene Problem zeigt bei tieferem Eindringen eine immer zunehmende Kompliziertheit.

Bei den zuerst ausgeführten Rizin-Antirizin-Versuchen ist die Vermehrung kleiner als die durch die Ausflockung bedingte Verminderung der Refraktion. Die Verminderung der Refraktion überwiegt, und es sinkt der Brechungsindex. In allen untersuchten Fällen ist die Refraktionsabnahme ausgedrückt in Trommelteilen des Interferometers fast genau gleich dem Anteil des Rizins an dem Refraktionswert des Antirizin-Rizin-Gemisches vor der Präzipitation. Man könnte

auf Grund dieser Versuchsreihen zu der Annahme kommen, daß das Antigen (hier Rizin) durch den im Immunserum vorhandenen Immunkörper (Präzipitin) quantitativ ausgefällt wird. Daß eine derartige Interpretation der Ergebnisse falsch wäre, erwiesen die weiteren Versuche.

Bei der Einwirkung von Typhusimmunserum auf Fickersches Typhusdiagnostikum entsteht ein Präzipitat. Wir können die Reaktion mit *Much* ebenfalls als eine Präzipitation auffassen. Bei der interferometrischen Untersuchung des Vorganges zeigte es sich, daß hier die Refraktionsvermehrung größer ist als die durch das Ausfallen des Präzipitates eintretende Verminderung der Refraktion. Als besonders auffällig zeigte sich hier die gleichmäßige Steigerung der Refraktionszunahme bei den verschiedenen Serumverdünnungen sowie die große Wirksamkeit der erheblichen Serumverdünnungen gegenüber der Serumverdünnung 1:10.

Aus ausgeführten Versuchen, mit Menschen- (Pferde-) Serum + Menschen- (Pferde-) Antiserum ist aber mit voller Sicherheit zu folgern, daß die Refraktion des Antigen-Immunserum-Gemisches und ihre Änderung durch den Präzipitationsvorgang keinen Anhalt für die Menge des ausgeflockten Eiweißes gibt. Wenn wir gehofft hatten, die relativ groben volumetrischen Methoden der Präzipitationsmessung und damit auch die Wertbestimmung des Immunserums durch die viel feinere interferometrische Untersuchung ersetzen zu können, so muß diese Hoffnung aufgegeben werden. Die ausgearbeitete Methode der Wiederauflösung der Präzipitate kann eher in diesem Sinne verwandt werden.

Bezüglich der Herkunft des Präzipitates lassen unsere Versuche seine Eiweißnatur als sicher erkennen. Auf Grund der ausgeführten Messungen nehmen wir als höchstwahrscheinlich auch seine teilweise Identität mit derjenigen Globulinfraction, die wir als die „unlösliche“ bezeichnen, an. Wie befinden uns in Übereinstimmung mit *Moll*, daß das Präzipitat ganz unmöglich allein aus dem Antigen stammen kann. Damit fällt die alte Auffassung von dem Immunserum als präzipitierender und vom Antigen als präzipitabler Substanz, die durch die oben angeführten Rizin-Antirizin-Versuche allein neue Berechtigung gefunden hätte. Das Immunserum behält allerdings einen durchaus aktiven Charakter. Nur die Art seiner Tätigkeit ändert sich. Auch der passive Charakter des Antigens bleibt erhalten, insofern, als es höchstwahrscheinlich seine Eiweißstoffe (Albumine) sind, die von dem im Immunserum enthaltenen Immunkörperpräzipitin abgebaut werden. Wir fassen somit das Präzipitin als ein Abwehrferment im Sinne von *E. Abderhalden* auf.

Wir haben dann Präzipitationsversuche von Hämözyanin enthaltendem Schneckenblut ausgeführt. Wir hofften, durch Benutzung eines nur einen Eiweißkörper enthaltenden Antigens ein-



fachere und durchsichtigere Versuchsbedingungen geschaffen zu haben, die eine Klärung des Präzipitationsvorganges herbeiführen könnten. Unsere Hoffnung hat sich jedoch nicht erfüllt. Wir konnten wohl eine Übereinstimmung mit von *Dunger* nachweisen, daß das Präzipitat in allen Fällen Kupfer enthält, daß also das Präzipitat aus Antigen besteht. Teile von Eiweißkörpern aus dem Immunserum sind wohl auch hier wie bei den Präzipitaten mit Menschen- und Pferdeeiweiß mit darin enthalten. Wir denken auch hier an das unlösliche Globulin.

Auf der anderen Seite zeigten aber diese letzten Versuche, daß wir über den Mechanismus der Präzipitation noch im Unklaren sind. Auf rein optischem Wege ließen sich bisher keine Beweise führen und auch nicht gegen die Richtigkeit der oben angeführten Arbeitshypothese erbringen. Nur das eine ließen die Versuche mit Hämocyandin klar erkennen, daß sich in dem Gemisch Antigen-Immunserum Reaktionen abspielen, die auf rein kolloid-chemischem Wege keine Erklärung finden können. Über die Natur der Reaktionen sagen uns unsere Versuche noch nichts aus. Wir beobachten in unseren Versuchen fast durchweg eine Abnahme des Interferometerwertes nach der Präzipitation. Die Größe der Präzipitation — gemessen am Interferometerwert der Lösung derselben — ist meistens kleiner als die Abnahme des Interferometerwertes nach der Präzipitation. Es muß also mit dem Präzipitationsvorgang als solchem, der eine Abnahme des Interferometerwertes durch die Konzentrationsverminderung bewirkt, ein anderer Prozeß einhergehen, der eine noch weitgehendere Abnahme hervorruft. Wir müssen hier auf Grund neuerer Untersuchungen an eine Aggregation von Teilchen, an eine Zunahme der Molekülgröße bei Abnahme der Molekülzahl, an Kondensation, an Polymerisation und anderes denken. Es hat aber auch nach der Präzipitation, wie unsere Versuche ergaben, der Gesamteiweißgehalt abgenommen, der Gehalt der Nichteiweißbestandteile dagegen zugenommen. Diese Befunde deuten auf eine hydrolytische Spaltung von Eiweißkörpern hin, die unter der Wirkung des Präzipitins eingetreten ist. Hierdurch ist nun an sich eine Zunahme des Interferometerwertes bedingt, wie unsere oben bereits erwähnten Versuche ergeben haben. Setzen wir diese Zunahme des Interferometerwertes in Beziehung zu den oben angeführten bei unseren Versuchen festgestellten Abnahmen des Interferometerwertes des Gemisches Immunserum-Antigen nach erfolgter Präzipitation, so wird die Größe der Nebenreaktionen, die neben dem eigentlichen Präzipitationsvorgang einhergehen, vielleicht auch die Hauptsache desselben darstellen, noch bedeutender.

Wir glauben, daß die spezifischen Kräfte, die das Präzipitationsphänomen bewirken, in nahe Beziehung zu den Fermenten (Abwehrfermente) zu stellen sind. Wir befinden uns hier in Übereinstimmung mit *Michaelis*:

„Als Ursache für die spezifische Affinität von Toxin und Antitoxin werden wir rein chemische Kräfte ansprechen müssen und wir werden sie vorläufig durch das von *Emil Fischer* zunächst für die Fermente geschaffene Bild von „Schlüssel und Schloß“ verstehen und die Entstehung des „Schlüssels“ im lebenden Organismus nur durch die „*Ehrlichsche* Seitenkettentheorie“ begreifen.“

Bei den Präzipitationen wirkt als „Schloß“ das Antigen (Präzipitogen), als „Schlüssel“ das Präzipitin. Der „Schlüssel“ Präzipitin wirkt als Ferment zunächst abbauend, und zwar spezifisch auf das Antigen. Dieser Vorgang ist ein rein chemischer. Später, vielleicht oder wahrscheinlicher auch nebenher, tritt nun die eigentliche Präzipitation auf. Sie ist ein kolloidchemischer Vorgang: Teile des Antigens und des Immunserums werden aus dem Solzustand in den Gelzustand übergeführt.

Es muß weiterer Forschung vorbehalten bleiben, den Mechanismus des Präzipitationsvorganges restlos zu klären. Wir glauben, daß die eben skizzierten Beziehungen zwischen Immunkörpern und Abwehrfermenten durch Versuche bewiesen werden können. Die heute in der Immunitätsforschung so beliebte Komplizierung durch Schaffung neuer Bezeichnungen für in ihrer Natur unbekannte Reaktionskörper bzw. Komponenten derselben wird dadurch vielleicht vermieden werden können.

Die Interferometrie ist noch eine junge Arbeitsmethode. Die in diesem Aufsatz gemachten Ausführungen lassen erkennen, daß in biologischer Hinsicht die Anwendung des *Löwischen* Interferometers bereits zu Ergebnissen führte, die hoffen lassen, daß eine Weiterverfolgung biologischer Probleme ein fruchtbares Anwendungsgebiet der Interferometrie erschließt. Allerdings werden noch viele Vorarbeiten sowohl in theoretischer als auch in methodologischer Richtung anzustellen sein.

#### Literatur:

- F. Löwe*, Zs. Instrumentenkunde 30 (1910).  
*P. Hirsch*, Fermentstudien. Fischer, Jena 1917.  
 Ders., Fermentforschung 1, 2 u. 5 (1914 u. ff.).  
*P. Hirsch* u. *F. Löwe*, Fermentforschung 3 (1920).  
*P. Hirsch* u. *K. Langenstrass*, Fermentforschung 3 (1919).  
*P. Hirsch* u. *R. Mayer-Pullmann*, Fermentforschung 4 (1920).  
*P. Hirsch* u. *R. Kunze*, }  
*P. Hirsch* u. *L. Köhler*, } Fermentforschung 6 (1922).  
*F. W. Voigt*, Inaug. Dissertation, Jena (1920).  
*V. Germann*, Inaug. Dissertation, Jena (1922).

### Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

#### Über das Wasserstoffmolekülmodell.

Verschiedene Anzeichen deuten darauf hin, daß die wirkliche Wasserstoffmolekel im Normalzustande kompakter gebaut ist als das häufig diskutierte Bohr-Debyesche Modell; es sei nur daran erinnert, daß die zu letzterem berechnete Dissoziationswärme (62 000 cal

Mol) kleiner als die (indirekt) beobachtete ist (etwa 90 000 cal pro Mol), ferner ist das berechnete Trägheitsmoment ( $0,29 \cdot 10^{-40}$ ) sogar größer als das einer angeregten Molekel, wie es sich beim Viellinienspektrum offenbart ( $0,18 \cdot 10^{-40}$ ), während das der normalen Wasserstoffmolekel in der Nähe von  $0,14 \cdot 10^{-40}$  liegen dürfte. (Vgl. A. Eucken, Jahrbuch f. Radioakt. und Elektr. 16, 361; 1920.)

Da nun im Bohr-Debyeschen Modell die Atomkerne bereits durch eine einquantige Kreisbahn der beiden Valenzelektronen zusammengehalten werden, kommt eine zweiquantige Bahn nicht in Frage. Die einzige Bahn, die übrig bleibt, ist eine einquantige, in eine gerade Linie entartete Ellipse.

Man vermied bisher die Annahme des Vorhandenseins einer derartigen Bahn in Atomen und Molekeln, da ohne weitere Zusatzannahmen die Elektronen mit den Kernen kollidieren müßten und die Bahnen daher physikalisch nicht realisierbar erschienen. Indessen ist zunächst allgemein zu bemerken, daß es sich bei Vorhandensein zweier Elektronen und Kerne nicht um einfache, sondern um „gestörte“ Bahnen handelt, bei denen das Eintreten einer Kollision zwischen Elektronen und Kernen nicht ohne weiteres vorausgesetzt zu werden braucht.



Einzelne Bewegungsstadien des Modells (⊕ Kerne, ⊖ Elektronen, → Bewegungsrichtung)

Fig. 1.

In der Tat gelangt man zu einer, wie es scheint, möglichen Konfiguration, wenn man die Kerne als um ihren gemeinsamen Schwerpunkt rotierend ansieht. Es ist bemerkenswert, daß eine derartige Nullpunktsrotation der Kerne tatsächlich zu bestehen scheint. Wie insbesondere F. Reiche (Ann. d. Physik 58, 451; 1913) zeigte, läßt sich nämlich der Temperaturverlauf der Rotationswärme der Wasserstoffmolekel nur dann einigermaßen richtig durch die Berechnung wiedergeben, wenn man annimmt, daß das letzte Quantum bei tiefen Temperaturen von der Molekel nicht abgegeben wird, d. h. wenn man der Molekel eine Nullpunktsrotation zuschreibt. Wahrscheinlich ordnet sich übrigens dieses Nullpunktsquantum nicht genau in die Reihe der anderen, mit der Quantenzahl quadratisch zunehmenden Energiequanten ein, da bei der Nullpunktsrotation nur die Kerne, bei der Wärmerotation dagegen die ganzen Molekeln gequantelt werden müssen. Wie man sich die Bewegung der Elektronen und Kerne im einzelnen vorzustellen hat, mögen die obenstehenden Figuren erläutern. In der Mitte begegnen sich die Elektronen, lenken sich aber hyperbolisch ab; jenseits der Kerne beschreiben sie eine scharfe Spitze. Während die Elektronen sich in der Nähe ihres Umkehrpunktes befinden, schieben sich die beiden Kerne infolge ihrer Rotationsbewegung zwischen ihnen hindurch.

Die durch die Elektronen hervorgerufene, zwischen

den Kernen wirkende Kohäsionskraft ist bei diesem Modell selbstverständlich nicht konstant, sondern schwankt zwischen Null (Elektronen im Umkehrpunkt) und einem ziemlich beträchtlichen Wert (Elektronen in größter gegenseitiger Nähe). Die Bahn der Kerne ist daher auch nicht genau kreisförmig, sondern gewellt. Übrigens wäre es denkbar, daß die Bahn nur in erster Annäherung eben ist und sich im Laufe der Zeit im Raume verlagert.

Da ein Elektron in einer Ellipsenbahn bekanntlich infolge der relativistischen Massenzunahme eine höhere Energie besitzt als in einer Kreisbahn, ist anzunehmen, daß das neue Modell in der Tat eine höhere Dissoziationswärme und ein kleineres Trägheitsmoment liefert als das Bohr-Debyesche Modell. Wäre die Bahn genau geradlinig, also ungestört, so würde die Energie sogar unendlich groß sein.

Ob das Modell quantitativ den beobachtbaren Eigenschaften entspricht, kann erst die genaue Durchrechnung lehren, die zweifellos nicht einfach sein wird, handelt es sich doch um ein Vierkörperproblem, das sich mindestens zwei Quantenbedingungen (die eine für die Bewegung der Elektronen, die andere für die Rotation der Kerne) anzupassen hat. Als qualitatives Argument zugunsten des Modells



Fig. 2.

kann außer der bereits erwähnten, wahrscheinlich tatsächlich vorhandenen Nullpunktsrotation der Kerne hervorgehoben werden, daß dasselbe nicht wie das Bohr-Debyesche Modell paramagnetisch ist.

Da es mir z. Zt. nicht möglich ist, die quantitative Berechnung selbst in Angriff zu nehmen, möchte ich den Fachgenossen das Modell hiermit zur Diskussion stellen.

Breslau, den 19. Mai 1922.

A. Eucken.

## Deutsche Ornithologische Gesellschaft.

Am 6. März fand eine Festsitzung zur Feier des 70. Geburtstages des Ehrenmitgliedes Professors Schalow statt, der der Gesellschaft 50 Jahre angehört. Der Vorsitzende, Herr v. Lucanus, feierte in einer Ansprache die großen Verdienste des Jubilars um die Entwicklung der Gesellschaft und die Förderung der Ornithologie, die besonders durch seine gründliche Bearbeitung der märkischen Vogelwelt und der nordischen Fauna überaus wertvoll bereichert worden ist. Professor Schalow dankte für die ihm zuteil gewordene Ehrung und machte der Gesellschaft seine wertvolle ornithologische Bibliothek, die aus ca. 2000 Werken und 3000 Separaten besteht, zum Geschenk. Hierauf hielten Dr. Heinroth einen Vortrag über die Raubvögel und Dr. Stresemann über die Entwicklung der Vogelsammlung des Berliner Museums für Naturkunde



unter Illiger und Lichtenstein. — Sitzung am 3. April. Der Vorsitzende, Herr v. Lucanus, gedachte der verstorbenen Ehrenmitglieder Dr. Joel Allen in New York und Dr. Theobald Krüper in Athen, und würdigte ihre verdienstvollen Forschungen auf ornithologischem Gebiete. In einem Vortrag über die **Biologie der Raben** nach Mitteilungen des Grafen Zedlitz aus Schweden führte Herr v. Lucanus folgendes aus: Die Nebelkrähen bevorzugen in Schweden die dem Festlande vorgelagerten Inseln als Nachtquartier, wo sie sich namentlich im Spätsommer und Herbst in gewaltigen Scharen, welche unter Umständen nach Zehntausenden zählen, einfänden. Auf den meist unbewohnten oder doch nur spärlich bevölkerten Inseln, deren reicher Baumbestand den Vögeln sehr geeignete Schlafplätze bietet, fühlen sich die Krähen anscheinend sehr sicher vor Nachstellungen durch Raubzeug und den Menschen. Auch schon im Frühjahr, während der Brutzeit, finden sich nach den Angaben des Grafen Zedlitz solche Krähengesellschaften zur Nachtruhe auf den Inseln ein, wenn auch nicht in so großer Anzahl wie im Herbst. Mit Recht schließt Zedlitz hieraus, daß die Krähe wohl nicht jedes Jahr zur Brut schreitet, da man unmöglich annehmen kann, daß alle diese nicht brütenden Krähen nur junge vorjährige, noch nicht fortpflanzungsfähige Vögel sind. Dieselbe Beobachtung machte Zedlitz auch bei der Dohle, der Saatkrahe und dem Kolkrahen. Die Rabenvögel scheinen also nicht regelmäßig in jedem Jahr zur Fortpflanzung zu schreiten. Besonders interessant ist eine größere Gesellschaft Kolkrahen, die ständig in gleicher Zahl die Forst eines Gutes in Südschweden bewohnt und niemals zur Fortpflanzung schreitet. Es sind offenbar ganz alte, unfruchtbare Raben, die bei der ihrer Sippe eigenen Langlebigkeit unter dem Schutz der dortigen Bevölkerung schon seit langen Zeiten hier hausen und noch viele Menschenalter überleben können.

In der anschließenden Diskussion wies Herr v. Lucanus darauf hin, daß durch die Vogelberingung nachgewiesen ist, daß auch der Storch nicht in jedem Jahr zur Brut schreitet. Solche ungepaarten Stücke treiben sich dann, ebenfalls in Gesellschaften vereint, im Lande umher.

F. von Lucanus, Berlin.

## Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

**Prähistorische Daten: Ein Kalender über 30 000 Jahre.** In der Royal Meteorological Society zu London hielt C. E. Brooks, M. Sc., vom Meteorological Office einen Vortrag über das obige Thema. Er beschrieb die säkularen Änderungen, welche das Klima von Nordwest-Europa seit 30 000 Jahren bis zur Gegenwart durchgemacht hat. Heute stehen uns für die Bestimmung von weit zurückliegenden Daten unerwarteterweise weit mehr zuverlässige Quellen zur Verfügung wie früher, als man so sehr auf Schätzungen und Vermutungen angewiesen war, daß geologische Autoritäten ersten Ranges in ihren Zeitangaben für den gleichen Vorgang um 10 000 bis 50 000 Jahre differierten.

Dieser Vorgang war der Abschluß der letzten Periode, in welcher eine derartige Kälte herrschte, daß die Walliser, Cumbriischen und Schottischen Gebirge dicke Schneemassen trugen, und Gletscher anstatt der heutigen Flüsse ihre Täler erfüllten. Es gab damals eine Folge von vier oder fünf solcher Perioden, von denen nach der zweiten jede weniger kalt war als die

vorhergehende. Die erste wird verschiedentlich um 100 000 bis 250 000 Jahre zurückdatiert. Wenn schon das Datum der Schlußperiode reichlich ungewiß ist, wächst die Unsicherheit natürlich, je weiter wir in der Zeit rückwärts gehen.

Eine Methode, nach der man den Abschluß der letzten kalten Periode zu schätzen versuchte, war die Altersbestimmung der Schluchten, welche die Flüsse unterhalb eines Wasserfalls in solchen Regionen, die früher von Eis bedeckt waren, in das Gestein eingeschnitten hatten. Die erste und berühmteste derartige Schätzungen war die des Niagara durch Charles Lyell, der ihm ein Alter von 45 000 Jahren zuerkannte, indem er seiner Berechnung den Betrag zugrunde legte, um welchen dieser Wasserfall nach der damaligen Annahme seine Lage durch Erosion stromaufwärts verlegte. Aber spätere Berechnungen, die auf längerem und zuverlässigerem Beobachtungsmaterial beruhten, haben diese Zeitspanne auf ein Drittel ihres Betrages vermindert, was mit den neuen Werten gut übereinstimmt.

Jetzt sind wir imstande, rückwärts zu rechnen, und zwar nahezu Jahr für Jahr, auf der Grundlage dreier von einander völlig unabhängiger Dokumente, nämlich der Jahresringe in den Riesenbäumen des nordwestlichen Amerika; der Schlammsschichten, welche das alljährlich eintretende Hochwasser des Nil in dessen Delta ablagert, hauptsächlich aber auf Grund der jährlich erfolgten Niederschläge von dünnen Tonschichten, die als Ablagerungen ehemaliger Seen in Schweden erhalten sind. Durch die Verkettung der einzelnen Seeablagerungen miteinander ist hier die Möglichkeit geboten, schrittweise rückwärts gehend die einzelnen Schichten zueinander in Beziehung zu setzen, wie es Professor G. de Geer in seinem ausgezeichneten Werk für die letzten 30 000 Jahre getan hat. Die Riesenbäume geben einen ziemlich sicheren Anhalt für die letzten 2000 Jahre und einen etwas weniger zuverlässigen für das Doppelte jener Zeit, während die Nilüberschwemmungen uns bis wenigstens zu dem Jahre 4000 vor Christi Geburt zurückblicken lassen. Die bemerkenswerte Bestätigung, welche uns der Vergleich dieser Dokumente einer kürzeren Vergangenheit mit dem ersten Fünftel der skandinavischen Ablagerungen liefert, ist in hohem Maße geeignet, das Vertrauen in die Beweisführung von Professor de Geer zu befestigen. Ein Punkt, in dem alle übereinstimmen, ist der Nachweis einer Abhängigkeit von Klimaschwankungen, unter denen Wechsel von warm und kalt, feucht und trocken über längere oder kürzere Perioden vorkommen, hauptsächlich solche von 100 und 270 Jahren.

Aber größer und viel wichtiger sind die nicht nach Hunderten, sondern nach Tausenden von Jahren zählenden Perioden, die Brooks aus den Änderungen der Höhe des Meeresspiegels ableitet. Als das Renntier noch in großen Scharen auf den britischen Inseln vorkam, bildeten diese noch Teile des Festlandes, und die heutigen britischen Seen und Buchten waren ausgedehnte Waldgebiete. Durch die Wälder, deren Stelle jetzt die Nordsee einnimmt, floß in großen Windungen ein mächtiger Strom, dessen englische Nebenflüsse Themse, Wash und Humber waren, während sich von deutscher Seite Rhein, Weser und Elbe in ihn ergossen. Die innere Ostsee zerfiel in eine Kette von Seen ähnlich jener, die in Nordamerika mit dem Oberen See beginnt. Ihr Abfluß erfolgte, analog dem St. Lorenzstrom, mit einem Fall von 120 m durch das Kattegat. Dies war der Zustand von Nordwesteuropa etwa 6000 Jahre vor

Christi Geburt. Das Klima war kühler und trockener. Bezüglich der Temperatur bringt uns die Botanik ihre eigenen Beweise, besonders durch Epheu, Eibe und niedrige Haselsträucher. Die letzteren lieben warmen Sommer (Beweis: die dicken Nüsse in diesem und der Mißwachs im vorigen Jahr), die beiden anderen hassen kalte Winter. Während nun in der Folgezeit diese beiden im Süden verblieben, ohne eine Wärmezunahme der Winter anzuzeigen, wanderte der Haselstrauch um mehrere Breitengrade nordwärts, woraus sich eine Zunahme der Sommerwärme um 7° folgern läßt, d. i. gerade die Differenz der diesjährigen Sommertemperatur zwischen London und Inverness. Dies liegt 7000 Jahre zurück; schon 13 000 Jahre waren vergangen seit dem Höhepunkt der Vereisung und der Zeit, in welcher der Rückzug der Gletscher begann. Die Britischen Inseln waren damals dem Einfluß einer ausgedehnten winterlichen Antizyklone unterworfen, ähnlich der heute in Sibirien vorherrschenden, wo zur Winterszeit stellenweise größere Kälte herrschte als in der Nähe des Pols. Der gleiche scharfe trockene Ostwind blies über Großbritannien hin, vorteilhaft für das Gedeihen einer nördlichen Waldregion im späteren Teile dieser Zeit, aber nachteilig für die Menschheit. Nun aber bereitete sich eine Änderung vor. In dem Maße, in dem die Antizyklone zurückweicht, erreichen die atlantischen Zyklonen die britischen Westküsten. Sie verursachen schwere Regenfälle, die schädlich auf die Wälder wirken und zur Torfbildung Veranlassung geben. Dazu gesellte sich ein Sinken des Landes. Um 4000 vor Christi Geburt lag der Meeresspiegel höher, und die Nebenmeere, insbesondere die Ostsee, hatten eine größere Ausdehnung als heute. Daher waren die Sommer kühl und die Winter mild, so daß die skandinavische Eiskappe schließlich verschwand. Auch der Haselstrauch mußte südwärts wandern.

Jedenfalls senkte sich der Meeresspiegel wieder, und das südliche Großbritannien lag um 3000 vor Christi Geburt etwa 27 m höher als jetzt; die Wälder gewannen wieder die Oberhand über den Torf, was man in manchen Gebieten des Westens an versunkenen Wäldern und Lagen von Eichensumpf erkennen kann. Die damals lebende Bevölkerung der Bronzezeit gab Veranlassung zu der Tradition von dem „heroischen Zeitalter“ um etwa 1600 vor Christi Geburt, „als die Lebenskraft der Iren eine später nie wieder erlangte Höhe erreichte“. Denn nur zu bald brachte die Senkung des Landes westliche Winde und reichlicheren Regenfall. Der Torf überwältigte den Wald von 1000 vor Christi Geburt beginnend nahezu 2000 Jahre lang mit einem Höhepunkt um etwa 400 vor Christi Geburt. Um 300 nach Christi Geburt begann eine trockenere Phase. Seitdem machte sich, allerdings mit großen Schwankungen (die z. B. im 15. Jahrhundert elende Zeiten für die Bevölkerung zur Folge hatten), eine Tendenz nach größerer Trockenheit und Wärme geltend. Der Hauptgrund hierfür lag in einer allmählichen Ablenkung der Zyklonenbahnen, die jetzt nordostwärts längs der britischen und skandinavischen Küste verlaufen, wohingegen 20 000 Jahre vorher die erwähnte Antizyklone die atmosphärischen Wirbel zwang, einen südlicheren Weg durch das Mittelmeer nach Südsibirien zu nehmen, sehr zum Vorteil dieser Regionen. Denn

die Änderung hat dort fruchtbares Land in Wüste verwandelt und hat in nicht geringem Maße den Ansporn gegeben, der die asiatischen Völkerhorden veranlaßte, in wiederholten Stößen westwärts vorzudringen.

So ergibt sich ein prähistorischer Kalender für Nordwesteuropa, zu dem uns die Kombination von geologischen, meteorologischen und botanischen Entdeckungen das Material liefert. Er gestaltet sich etwa folgendermaßen:

1. 30 000 bis 18 000 v. Chr. Arktisches Klima. Die letzte große Vergletscherung. Nordwesteuropa gleicht dem heutigen Grönland.
2. 18 000 bis 6000 v. Chr. Strenges Kontinentalklima. Rückzug des Eises und Abschluß der Eiszeit. Das Land sinkt. Der Nil hört auf Kies abzulagern.
3. 6000 bis 4000 v. Chr. Kontinentalklima und kontinentale Bedingungen für kalte Winter und warme Sommer. Norwegen frei von Stürmen. Torfbildungen auf den Britischen Inseln.
4. 4000 bis 3000 v. Chr. Maritime Phase. Warm- und feucht. Wohnstätten hauptsächlich auf Sanddünen. Torf überwuchert frühere Wälder. Zivilisation des Mittel-Neolithikums.
5. 3000 bis 1800 v. Chr. Spätere Waldphase. Warm und trocken. Land höher als jetzt. Die Waldentwicklung nimmt ab. Bronzezeit.
6. 1800 v. Chr. bis 300 n. Chr. Zweite Torfmoorphase. Kühler und feuchter. Einige Teile weiter gesunken. Die Eisenzeit beginnt.
7. 300 n. Chr. bis jetzt. Rezente Phase. Es wird trockener und wärmer, jedoch mit Schwankungen. Der Wuchs der Torfmoore nimmt schrittweise ab.

J. Edmund Clark.

Eine elektrische Lokomotive mit Antrieb durch eine Dampfturbine wird demnächst auf der London- und Nordwestbahn ihre Probefahrten machen. Die Lokomotive besteht aus zwei Fahrzeugen mit je 4 Achsen, von denen je 3 gekuppelt sind. Der Dampfturbine und die von der Oerlikon A.-G. in Zürich gebaute Aktionsturbine mit 2 Druck- und mehreren Geschwindigkeitsstufen sind auf dem ersten Fahrzeug, der Kondensator, die Rückkühleinrichtung und die Kohlenbunker auf dem zweiten Fahrzeug untergebracht. Die Turbine treibt einen ebenfalls auf dem vorderen Fahrzeug befindlichen Drehstromgenerator von 890 kW Leistung bei 3000 Umdrehungen und 600 V Spannung mittels einer nachgiebigen Kupplung an. Eine Hilfsturbine treibt die Erregerdynamo an. Auf beiden Fahrzeugen sind in eigenen Rahmen je 2 Drehstrommotoren von einzeln 275 PS angeordnet, die vermittle Blindwelle auf die Achsen treiben. Neuartig ist der Kondensator, dessen innen vom Dampf durchströmte Rohre sich im Kühlwasserbehälter (10 cbm Wasserinhalt) drehen. Ein Ventilator am Hinterende des zweiten Fahrzeuges bläst Luft durch das Kühlwasser. Der Dampfkessel erzeugt Dampf von 14 at und 340°. Die Kesselheizfläche ist 135 qm, die Rostfläche 2,64 qm. Die Leistung von 890 kW wird bei dem sehr hoch erscheinenden Vakuum von 95 % erzielt. Das Dienstgewicht der zweiteiligen Lokomotive beträgt 132 t. Über die Wirtschaftlichkeit der neuen Lokomotive ist noch nichts bekannt.

L. Schneider.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 24. (Seite 537—552)

16. Juni 1922.

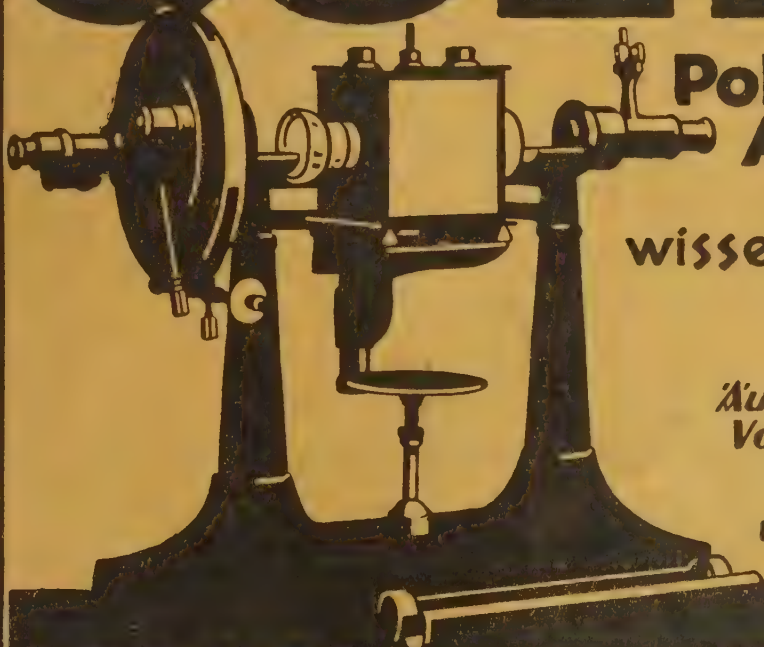
Zehnter Jahrgang 1922

## INHALT:

Zum hundertsten Geburtstage Alfonso Cortis. Von *Josef Schaffer, Wien.* (Mit 2 Abbildungen.) S. 537.  
Die Resonanztheorie des Hörens. Ihre Entwicklung und ihr gegenwärtiger Stand. Von *E. Waetzmann, Breslau.* (Mit 1 Abbildung.) S. 542.

Physiologische Mitteilungen. S. 551—552.  
Ueber das Lichtunterscheidungsvermögen des Hundes. Reiz und Reizbarkeit.  
Astronomische Mitteilungen. S. 552.  
Die Entfernung der kugelförmigen Sternhaufen

# GOERZ



**Polarisations-  
Apparate**  
für  
wissenschaftliche  
Zwecke

★  
*Äusserste Stabilität  
Vorzügliche Optik*

★  
Katalog kostenfrei

**Optische Anstalt C. P. GOERZ Aktiengesellschaft**  
BERLIN-FRIEDENAU

**Die Naturwissenschaften**

Berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 60.— für das zweite Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 6.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 6.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 80 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24.**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6030-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20120 Julius Springer,  
Konten: für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

**Mikroskopische Präparate**

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

**J. D. Möller, Wedel in Holstein.**  
Gegründet 1864. (250)

**Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften**

**zu kaufen gesucht.** Angebote unter Nw. 236 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

**Verlag von J. F. Bergmann in München**

**Schematische Darstellung der Lage der Bogengänge**

Wandtafel auf Leinwand 100×120 cm

Von **J. Rich. Ewald**

1914. Preis M. 103.20 (einschl. Teuerungszuschlag)

Die große Bedeutung, die dem inneren Ohr, besonders den Bogengängen für die Erhaltung des Körpergleichgewichts und damit in Zusammenhang stehend für die nystagmischen Augenbewegungen und alle Schwindelerscheinungen zukommt, hat bewirkt, daß eine Besprechung der Funktionen des statischen Sinnesorgans beim medizinischen Unterricht nicht mehr übergangen werden kann.

**Verlag von Julius Springer in Berlin W 9**

**Das Ohrlabyrinth als Organ der mathematischen Sinne für Raum und Zeit**

Von

**E. von Cyon**

Mit 45 Textfiguren, 5 Tafeln und dem Bildnis des Verfassers (XX, 432 S.)

1908. Preis M. 14.— (u. Teuerungszuschlag)

**Die Gefäßdrüsen als regulatorische Schutzorgane des Zentral-Nervensystems**

Mit einer Vorrede: Herz, Ohrlabyrinth und Hypophyse und einem Verzeichnis sämtlicher Werke und Schriften des Verfassers

Von

**E. von Cyon**

Mit 117 Textfiguren und 8 Tafeln. (XX, 371 S.)

1910. Preis M. 14.— (u. Teuerungszuschlag)



## Zum hundertsten Geburtstage Alfonso Cortis.

Von Josef Schaffer, Wien.

Selten hat eine Entdeckung auf dem Gebiete der feineren Anatomie eine allgemeinere und rückhaltlosere Anerkennung gefunden, als die des italienischen Forschers *Alfonso Cortis*.

Ihm verdanken wir die erste genauere Kenntnis vom feineren Aufbau jenes verwickelten Apparates in der Gehörschnecke, welcher die Endausbreitung des Gehörnerven enthält und die Gehörsempfindung vermittelt.

Diese Entdeckung hat den Namen *A. Cortis* unsterblich gemacht.

Der Grund dafür liegt einerseits in dem allgemein menschlichen Interesse, welches eines unserer wichtigsten Sinnesorgane, das uns auch einen der edelsten und reinsten Genüsse, den der Musik vermittelt, beansprucht, andererseits in dem wundervollen Aufbau des tief im Felsenbeine verwahrten, daher schwer zugänglichen und überaus zarten Apparates selbst und endlich in der Gründlichkeit und Verlässlichkeit der Untersuchungen *A. Cortis*, welche für immer den Ausgangspunkt für weitere Forschungen auf diesem Gebiete bilden werden.

So berühmt der Name *Corti* in der Wissenschaft geworden ist, so wenig wußte man bis vor kurzer Zeit von der Person ihres Trägers. Erst in den Jahren 1913<sup>1)</sup> und 1914<sup>2)</sup> konnte durch zwei biographische Versuche einiges Licht auf die merkwürdigen Schicksale dieses Forscherlebens geworfen werden.

*A. Corti* entstammte einem altadligen Geschlechte aus Pavia. Er wurde am 15. Juni 1822 als Sohn des Marchese *Gaspare Giuseppe Corti di San Stefano Belbo* und der *Beatrice Malaspina di Carbonara* auf einem Landgute seines Vaters zu Gambarana im ehemaligen Königreiche Sardinien geboren. Er besuchte das Gymnasium in Pavia und vollendete es hier auch. Frühzeitig trat bei ihm eine ausgesprochene Vorliebe für die anatomische Forschung hervor, so daß er im Jahre 1841 sich dem Studium der Medizin an der Universität Pavia zuwandte. Bald lenkte er die Aufmerksamkeit seiner berühmten Lehrer *Panizza* und *Rusconi* auf sich und tat sich durch sein präparatorisches Geschick so hervor, daß man ihm die Stelle eines Assistenten an der Anatomie in

Aussicht stellte. Doch scheint sein Wissens- und Forscherdrang in der Heimat nicht volle Befriedigung gefunden zu haben, denn er verließ sehr gegen den Willen seiner Familie und unter Überwindung beträchtlicher Widerstände 1845 Pavia, um sich an die damals in Blüte stehende medizinische Hochschule von Wien zur Vollendung seiner Studien zu begeben. Hier wurde er 1846 unter dem schlichten Namen *Alfons Corti* immatrikuliert.

Auch hier scheint er bald die Aufmerksamkeit seines Lehrers *J. Hyrtl* erregt zu haben; er arbeitete unter dessen Leitung mit solchem Eifer im Seziersaale, daß er in kurzer Zeit 12 menschliche und 24 vergleichend-anatomische Präparate für das Museum abliefern konnte. Gleichzeitig arbeitete er an seiner Doktordissertation und betrieb mit solcher Gründlichkeit das Studium der deutschen Sprache, daß er an die Veröffentlichung einer Abhandlung über von ihm beobachtete Muskel-, Nerven- und Gefäßanomalien denken konnte. Am 9. Februar 1847 legte er sein erstes, am 5. August sein zweites medizinisches Rigorosum ab, und nachdem er tags darauf seine Doktordisputation gehalten hatte und seine Dissertation „*De systemate vasorum Psammosauri grisei*“ (Wien 1847, Typis congregationis Mechitaristicae) erschienen war, wurde er am 6. August zum Doktor der Medizin promoviert.

Er bewarb sich dann um die durch die Ernennung *Dr. Carl Langers* zum Prosektor *Hyrtls* freigewordene unbesoldete Assistentenstelle bei *Hyrtl*, unterzog sich der vorgeschriebenen konkursartigen Prüfung am 16. Dezember 1847 und wurde auf Grund der schriftlichen Gutachten, welche *Hyrtl* und *Czermak* über ihn abgaben, zum zweiten Prosektor an der Anatomie ernannt.

Die politischen Umwälzungen des Jahres 1848, welche eine Verlegung der Anatomie aus dem Universitätsgebäude in die Josefinische Akademie notwendig machten und *Corti* der Möglichkeit ruhiger wissenschaftlicher Arbeit beraubten, zwangen ihn aber, Wien zu verlassen. Wie aus einem Briefe *Cortis* aus Turin, den er am 24. Juli 1851 an den Wiener pathologischen Anatomen *Jos. Engel*<sup>3)</sup> gerichtet hatte, hervorgeht, wandte er sich noch im Jahre 1848 nach der Schweiz, nach Zürich und von hier nach Würzburg, offenbar angezogen durch den Ruf des erst kürzlich (1847) hierher berufenen *A. Koelliker*.

Hier beschäftigte er sich nun mit Untersuchungen über die Gehörschnecke und entdeckte das später nach ihm benannte Spiralorgan, wie

<sup>1)</sup> G. Brückner, Beiträge zu einer Biographie des Marchese Alfonso Corti. — Archiv f. d. Gesch. d. Naturw. u. d. Technik, Bd. V, S. 69—71.

<sup>2)</sup> J. Schaffer, Marchese Alfonso Corti. Ein biographischer Versuch. Anat. Anz. Bd. 46, S. 368—382.

<sup>3)</sup> Einsicht in diesen Brief verdanke ich Herrn Kollegen Prof. Dr. M. Neuburger in Wien.

aus einer Bemerkung in *Koellikers* „Handbuch der Gewebelehre“<sup>4)</sup> ersichtlich ist und aus mündlichen Mitteilungen *Koellikers* selbst festgestellt werden konnte. Außerdem unterstützte er *Koelliker* bei der Abfassung von dessen Mikroskopischer Anatomie, teils durch gemeinsam mit ihm durchgeführte Untersuchungen, wie z. B. die über die netzförmige Anordnung der Herzmuskelfasern und des Vorkommens von baumartig verästelten Enden quergestreifter Muskelfasern in der Froschlunge, teils durch Anfertigung von Zeichnungen<sup>5)</sup>.

Im Frühsommer 1850 erschien eine kurze Mitteilung *Cortis* „Beitrag zur Anatomie der Retina“ in dem von *Johannes Müller* herausgegebenen Archiv (S. 273—275), welche den wichtigen Nachweis vom Ursprung der Sehnervenfaser aus den Ganglienzellen der Netzhaut enthielt, den er an Isolationspräparaten von Netzhäuten verschiedener Tiere erbracht hatte. Ob *Corti* diese Arbeit unter dem Einflusse des großen Berliner Anatomen und Physiologen gemacht hat, ob er überhaupt in Berlin gewesen ist und mit *Johannes Müller* in persönliche Berührung getreten ist, wie der Sohn *A. Cortis* behauptet, ist heute noch fraglich, scheint mir aber aus mehreren Gründen unwahrscheinlich<sup>6)</sup>. Im Herbst 1850 machte *Corti* eine wissenschaftliche Reise nach Utrecht, wo er mit *Koelliker* zusammentraf<sup>7)</sup> und in seinen Untersuchungen über die Gehörschnecke insofern gefördert wurde, als er von *Schröder van der Kolk* und *Harting* die Methode kennen lernte, Präparate feucht einzuschließen und für längere Untersuchung aufzubewahren. Diese Methode setzte ihn nach seinen eigenen Worten erst in die Möglichkeit, die sehr verwickelten Verhältnisse des Spiralblattes der Schnecke bequem und mit großer Sorgfalt zu untersuchen.

*Corti* scheint auch noch in diesem Jahre den ersten Teil dieser Untersuchungen abgeschlossen zu haben, denn bereits am 30. Juni 1851 erschien seine berühmt gewordene Abhandlung: „Recherches sur l'organe de l'ouïe des mammifères.

<sup>4)</sup> 1852, S. 631.

<sup>5)</sup> Siehe Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 2, 1850, S. 278.

<sup>6)</sup> Der Sohn *A. Cortis*, *Marchese Gaspare*, spricht nur von einem „berühmten *Müller*“ (ohne Vornamen), den er in einer mir zugekommenen Mitteilung auch in Wien wirken läßt. Nun besaß damals *Heinrich Müller* in Würzburg schon einen hervorragenden Namen als Mikroskopiker, der sich insbesondere mit dem feineren Bau der Retina beschäftigte. Es ist daher viel naheliegender, anzunehmen, daß dieser es war, der *A. Corti* zu der obenerwähnten Mitteilung veranlaßt hat, und daß *A. Corti* überhaupt niemals in Berlin war. *Johannes Müller* hätte ihn auf dem Gebiete mikroskopischer Beobachtung auch kaum fördern können, da er sich selbst nicht damit befaßte. Endlich lassen sich für einen Aufenthalt *A. Cortis* in Berlin, trotz mehrfach darauf gerichteter Nachforschungen keinerlei Anhaltspunkte finden.

<sup>7)</sup> Skizze einer wissenschaftlichen Reise nach Holland und England in Briefen von *C. Th. v. Siebold*. — Zeitschr. wiss. Zool. Bd. 3, 1851, S. 81.

I. Partie. Limaçon“ mit zwei von ihm gezeichneten Tafeln<sup>8)</sup>.

Welcher Wertschätzung diese Untersuchung *Cortis* sich bald erfreute, geht am besten daraus hervor, daß man bereits in dem 1852 erschienenen Handbuche der Gewebelehre von *Koelliker* bei der Darstellung des feineren Baues der Schnecke die Ergebnisse *Cortis* vollinhaltlich berücksichtigt und eine Reihe seiner Abbildungen wiedergegeben findet. Im 2. Band der Mikroskopischen Anatomie (1854) sagt *Koelliker* über „die ausgezeichnete und den Gegenstand fast erschöpfende Abhandlung seines Freundes *Corti*, daß nicht leicht eine monographische Arbeit von solcher Exaktheit und Vollständigkeit zu finden ist als die seine“.

Dieses Urteil eines so hervorragenden und maßgebenden, auch kritischen Zeit- und Fachgenossen, wie es *Koelliker* war, möge hier genügen, um die Bedeutung von *Cortis* Entdeckung zu kennzeichnen. Gegenständlich soll auf die Ergebnisse dieser Untersuchung noch später eingegangen werden; hier sei aber noch hervorgehoben, daß die Arbeit auch eine wesentliche Förderung der histologischen Technik brachte und daß *Corti* u. a. als erster den Karmin zur Färbung tierischer Elemente empfohlen hat, eine Methode, die später eine ungeahnte Ausbildung und Bedeutung für die ganze biologische Forschung gewonnen hat.

Kaum einen Monat, nachdem *Cortis* Hauptwerk erschienen war, finden wir ihn wieder in seiner Heimat (24. Juli 1851<sup>9)</sup>), und zwar in Turin, wo er sich längere Zeit aufgehalten und auch wissenschaftlich betätigt hat. U. a. hat er mit dem Direktor des dortigen zoologischen Museums *Filippo de Filippi* histologische Untersuchungen<sup>10)</sup> an einem Elefanten angestellt und Mitteilungen über einzelne Gewebe und Organe gemacht. Dieses war seine letzte wissenschaftliche Mitteilung, denn bald ereilte ihn ein grausames Geschick, das ihn zwang, in den besten Jahren, mitten im Aufstiege einer glänzenden Laufbahn, seiner geliebten Wissenschaft zu entsagen.

„Wie ein Meteor ist *A. Corti* am wissenschaftlichen Himmel aufgetaucht und verschwunden. Beseelt von einer elementaren Liebe und Begeisterung für die Forschung, begabt mit ungewöhnlichem präparatorischen Geschick, einer seltenen Beobachtungsgabe und unermüdlicher Ausdauer, war er geschaffen, die Wissenschaft noch um manche wertvolle Tatsache zu bereichern.“

*A. Corti* wurde bald von einer schweren Gicht oder Arthritis deformans befallen, welche rasch fortschreitend seine Hände und Füße so sehr in

<sup>8)</sup> Ebendort, S. 109—169.

<sup>9)</sup> Brief von *Corti* an *J. Engel*.

<sup>10)</sup> Histologische Untersuchungen, angestellt an einem Elefanten. Aus einem Schreiben des Marquis *A. Corti* in Turin an Prof. *A. Koelliker*. — Zeitschr. wiss. Zool. Bd. V, 1854, S. 87—93.



Mitleidenschaft zog, daß er bald außerstande war, sich ohne fremde Hilfe zu bewegen, ja selbst Nahrung zu nehmen. Aber auch im Unglück zeigte er sich als Mann voll von geistigen Interessen und festem Willen. Da ihn seine Krankheit zwang, dem wissenschaftlichen wie gesellschaftlichen Leben in der Stadt zu entsagen, zog er sich auf seine Villa Mazzolino bei Casteggio zurück und widmete sich hier mit großer Energie dem Weinbau. Er schuf eine Musterwirtschaft, die für die Bauern und Arbeiter eine Quelle des Gewinnes und eine praktische Schule der Landwirtschaft wurde und ihm selbst sein Leben er-

Schneckenkanals vergleicht und sieht, welche Umdeutung die von Corti entdeckten Teile erfahren haben und wie vieles ihm entgangen ist, könnte man leicht zu einem ganz falschen Urteile über die Bedeutung und Tragweite seiner Entdeckung gelangen. Maßgebend für eine gerechte Würdigung der letzteren kann nur das Urteil seiner unmittelbaren Nachuntersucher und ein Vergleich des von ihm Gefundenen mit dem sein, was man zu seiner Zeit über den feineren Bau der Schnecke hauptsächlich durch die Untersuchungen *Huschkes* (1833), auf die sich Corti beruft, wußte.

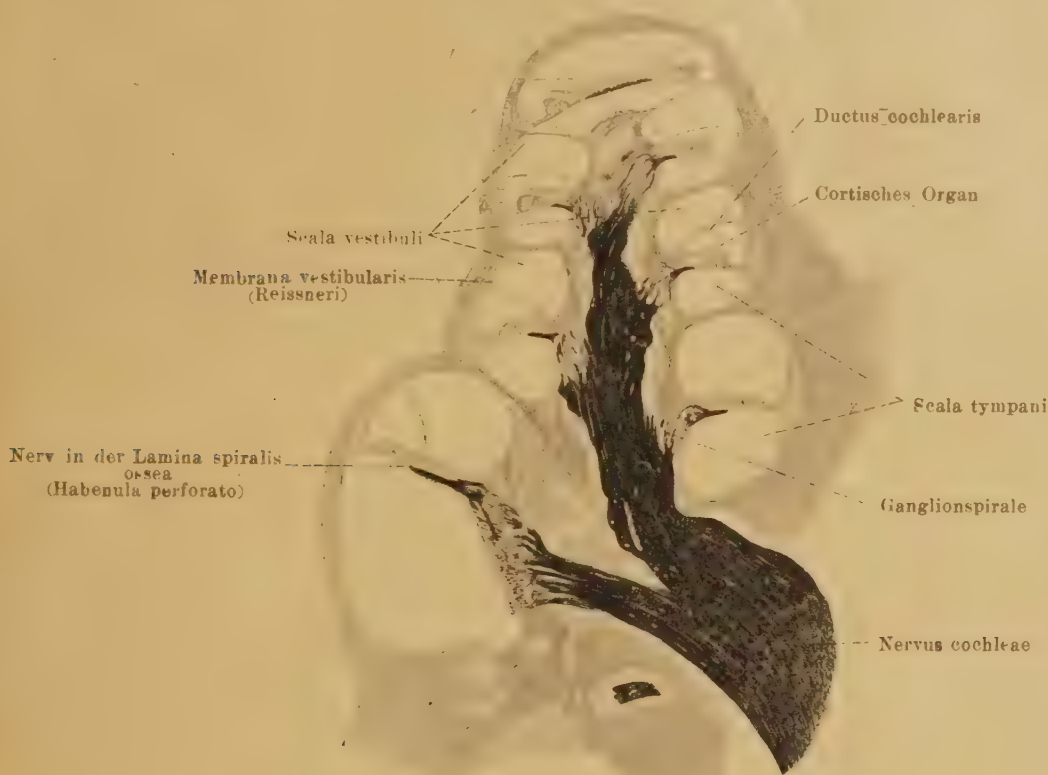


Fig. 1. Übersichtsbild durch die Schnecke.

träglich machte und reiche Früchte trug. Er führte Neuerungen und Verbesserungen ein, die vorbildlich und segensreich für die ganze Gegend wurden.

Im Jahre 1855 hatte sich A. Corti mit der Edlen Maria Bettinzoli vermählt, welche ihm zwei heute noch lebende Kinder geschenkt hat, Bianca und Gaspare, der das Werk seines Vaters als Oenologe in Corvino San Quirico bei Casteggio weiter führt. Hier ist A. Corti am 2. Oktober 1876 im 55. Jahre seines Lebens verschieden.

Wenn man nun die tatsächlichen Ergebnisse der Untersuchungen von A. Corti mit unseren heutigen Kenntnissen vom feineren Bau des

Bekanntlich wird der Schneckenhohlraum durch ein unter annähernd rechtem Winkel von der Schneckenachse abgehendes und an der äußeren Wand sich ansetzendes, teils knöchernes, teils häutiges Spiralblatt (Lamina spiralis ossea und membranacea) in zwei übereinander gelegene Räume, die scala tympani (unten) und die s. vestibuli (oben), getrennt. Das häutige Spiralblatt war zur Zeit Cortis nahezu terra incognita. Auf ihm entdeckte er nun in regelmäßig-zierlicher Anordnung in der Aufsicht zahnartige Gebilde, die er, im Vergleich mit den von *Huschke* beschriebenen, über der Lamina spiralis ossea gelegenen Gehörzähnen, als Zähne der 2. Reihe bezeichnete. Diese Gebilde erfuhren später ver-

schiedene Benennungen und Deutungen, bis man sie als, brückenartig einen Hohlraum (Tunnel) einschließend, der Basilarmembran aufsitzende Stützpfeiler erkannte (Cortische Pfeiler, Waldeyer). Corti beschrieb ihre gelenkartige Verbindung und sah die Füße der äußeren Pfeiler gegabelt, hat also möglicherweise den erst in jüngerer Zeit in diesen Füßen beschriebenen Ursprungskegel wahrgenommen. Er ließ diese Füße aber noch der Basilarmembran frei aufliegen.

Den äußeren Pfeilern aufliegend, sah er drei Reihen von Sinneszellen, die er sich dachziegelartig decken ließ, was ihrer schrägen Lage und der Flächenansicht von oben her entsprach. Nach außen davon entdeckte er einige Reihen großblasiger Zellen, die wohl den später von Hensen (1863) genauer beschriebenen und heute nach ihm benannten, wasserreichen Elementen entsprachen. Er entdeckte die Membran, welche von der Oberfläche der crista spiralis entspringt und die drei Reihen Sinneszellen bedeckt, erkannte ihre fibrilläre Struktur, ihre Verdickung gegen das äußere Ende, die spiralen Streifen, welche sie in mehrere Zonen teilt. Er gab eine genaue Beschreibung des Spiralgefäßes an der tympanalen Fläche der Basilarmembran, an dem er außer dem Endothel auch ein deutliches äußeres Umhüllungshäutchen beobachtete. Er erkannte auch bereits, daß die schmalere Außenzone der Membrana basilaris, die Zona pectinata, nicht aus wirklichen Fasern besteht, sondern nur der Ausdruck einer streifigen Struktur ist. Er gab eine heute noch gültige Beschreibung des gefäßhaltigen Epithels an der äußeren Schneckenwand, der Stria vascularis, und erkannte auch bereits dessen physiologische Bedeutung für die Ausscheidung der Endolympe. Von großer Bedeutung war die Entdeckung des Ganglion spirale, der Bipolarität seiner Zellen und der von ihm abgehenden Nerven. Er sah sie in zugespitzten Bündelchen gegen die Lamina spir. membranacea ziehen und hier in einer spiralig aufsteigenden Reihe von Löchern, der Habenula perforata, endigen.

Von besonderem Werte sind auch die zahlreichen Maßangaben, die Corti für die feinsten Strukturelemente gemacht und für die Katze auch übersichtlich in Tabellenform zusammengestellt hat.

Über zwei Punkte konnte Corti trotz aller Bemühungen und meisterhaften Beobachtungsgabe nicht ins Klare kommen: einmal über die räumliche Anordnung der von ihm entdeckten Gebilde auf der unterliegenden Basilarmembran und dann, wie er selbst ausdrücklich erwähnt, über die letzten Endigungen der Nerven. Er hatte aber das Augenmerk der Forscher auf den wichtigsten Teil der Gehörschnecke gelenkt und einen festen Ausgangspunkt für weitere Forschungen geschaffen. Die Fortschritte, die unsere Kenntnisse vom feineren Bau des Schneckenkanals seit Cortis grundlegenden Beobachtungen gemacht haben, gehen, wie fast alle histologische Erkennt-

nis, Hand in Hand mit der Verbesserung und Ausbildung der Untersuchungstechnik.

So konnten erst, als man gelernt hatte, dünnste Durchschnitte durch das in möglichst natürlicher Lage erhaltene Organ herzustellen, die richtigen Lagebeziehungen der von A. Corti entdeckten Elemente erkannt und weitere Zellanordnungen auf der Basilarmembran (die kubischen Zellen, welche nach außen von den Hensenschen bis in den sulcus spiralis externus reichen (Claudius, 1855), die inneren Sinneszellen und die Stützelemente der äußeren (O. F. Deiters, 1860) sowie das dünne Häutchen nachgewiesen werden, welches den Schneckengang gegen die scala vestibuli zu abgrenzt (E. Reißner, 1852). Claudius hat auch die bogenförmige Überbrückung der Basilarmembran durch die Cortischen Pfeiler gesehen, festgestellt, daß die inneren Pfeiler zahlreicher sind als die äußeren und daß auch diese der Basilarmembran aufsitzen. Koelliker (1861) und Böttcher beschrieben die gitterartig von den obern Enden der Stütz- und Sinneszellen durchbrochene Haut (Membrana reticularis) an der Oberfläche des Cortischen Organs, während Hensen (1863) deren nach innen geneigte Lage erkannte.

Durch die Anwendung der Osmiumsäure als Nervenfixierungsmittel konnte M. Schultze (1858) die Nervenfasern, nachdem sie beim Durchtritt durch die Löcher der Habenula perforata ihre Markscheide verloren haben, als feinste, variköse Fäden weiter ziehen sehen, während Deiters bereits radiäre und spirale Faserzüge unterscheiden konnte. Das weitere Verhalten der Nerven im Cortischen Organ wurde aber erst durch die neueren Silberimprägnationsmethoden von Golgi, Ramon y Cajal, Bielschowsky sowie die Methylenblaufärbung von Ehrlich aufgedeckt, während die Art ihrer letzten Endigungen an den Sinneszellen heute noch nicht einheitlich beantwortet ist. Sollte sich aber auch ihr Eindringen mit feinsten Fäden in den Körper der Haarzellen selbst, wie es Kolmer (1907, 1909) dargestellt hat, bewahrheiten, so bliebe doch die eine Tatsache aufrecht, daß diesen Haar- oder Sinneszellen nicht der Wert von Ganglienzellen zukommt, wie solche im Riech- und Sehorgan bekannt sind.

Einen wesentlichen Fortschritt in der Erkenntnis brachten die Untersuchungen über die embryonale Entwicklung des Cortischen Organs durch Reißner, Böttcher, besonders aber Koelliker u. a., welche ergaben, daß dieses ganze Organ aus einer Differenzierung des Epithels hervorgeht, welches den Schneckenkanal auskleidet und daß ein Teil dieses Epithels die Cortische Haut (Membrana tectoria) als kutikuläre Bildung absondert. Auch der vergleichend-anatomischen Untersuchung der Schnecke, die für die Säugetiere schon von A. Corti eingeleitet worden war, dann aber von Deiters, Hensen, Lang, Oswiannikow, Hasse, G. Retzius, Tafani



u. a. auf alle Tierklassen erstreckt wurde — von *Kolmer* auch auf die Anthropoiden —, haben wir eine wesentliche Vertiefung unserer Erkenntnisse zu verdanken.

Einen Markstein bildet das monumentale Werk des schwedischen Forschers *G. Retzius* (1881—1884) mit seinen unübertrefflichen Tafelzeichnungen, welches nicht nur die Kenntnisse seiner Zeit über das häutige Labyrinth übersichtlich zusammenfaßt, sondern auch eingehende, selbständige Untersuchungen fast aller Wirbeltierklassen enthält. *G. Retzius* verdanken wir aber auch bereits die Kenntnis wertvoller Einzelheiten im feinsten Aufbau der Stütz- und

neurofibrilläre Netze und Gitter gedeutet werden, teils mit Sphären, teils (wie der sog. Hensensche Körper der Sinneszellen) mit dem, was man in anderen Zellen Throphospongien oder Netzapparate genannt hat, zusammenhängen. Eigentümlich dichte und regelmäßige Einschlüsse wurden auch in den Pfeilerköpfen beschrieben (*G. Schwalbe, Joseph*).

Den letzten wesentlichen Fortschritt brachten endlich die eingehenden Darstellungen *H. Helds* (1902, 1908) über die funktionelle Anordnung der Stützstrukturen in den Stützzellen und die Beziehungen dieser letzteren zu den Sinneszellen. Er beschrieb auch zuerst die schwer nachweis-

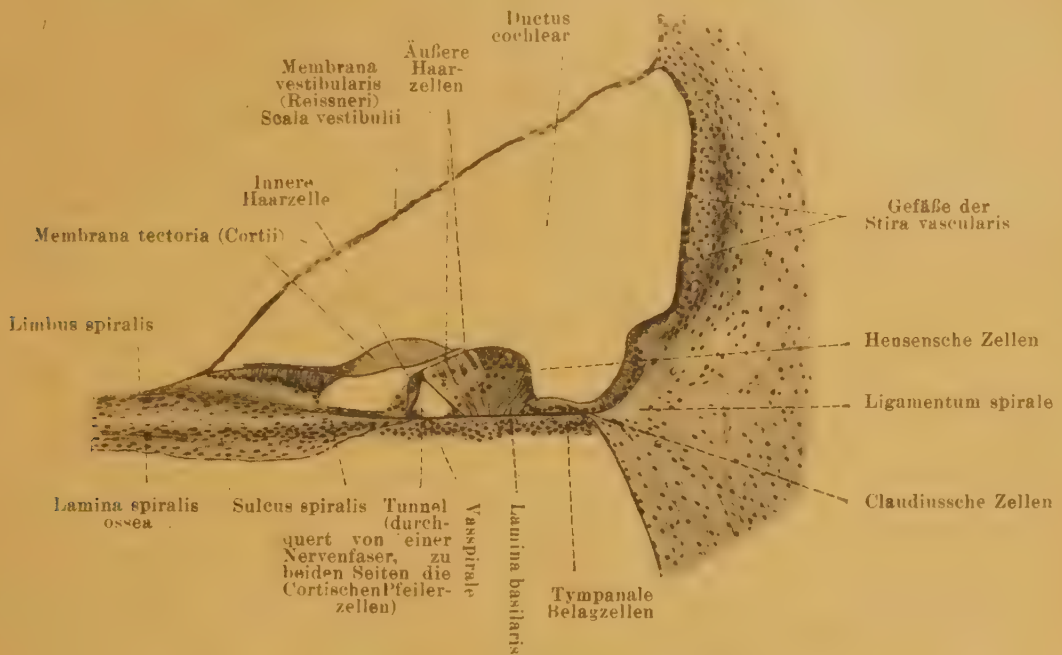


Fig. 2. Vergrößerter Querschnitt durch einen Schneckenkanal.

Sinneszellen des Cortischen Organes (Retziusscher Stützfaden in den Deitersschen, Retziusscher Körper in den äußeren Haarzellen).

Damit begann die zytologische Forschung mit ihrer immer mehr sich ausbildenden Untersuchungstechnik, der wir unsere vertieften Kenntnisse vom feineren Aufbau der tierischen Zellen überhaupt verdanken, auch für die weitere Erkenntnis des Cortischen Organes die größte Bedeutung zu gewinnen.

Man entdeckte das Vorkommen von Zentralkörperchen und Geißelfäden in gesetzmäßiger oberflächlicher Lage, sowohl in den Sinnes-, wie Stützzellen (*Graf Spee, Joseph, Held, N. van der Stricht, Kolmer* u. a.), verschiedene Differenzierungen in Kopf, Körper und Basis der Sinneszellen, die teils als Protoplasmafaserung, teils als

baren Stützelemente der inneren Haarzellen als innere Grenz- und Phalangenzellen. Nach diesen Darstellungen *Helds*, die durch *Kolmer* u. a. Bestätigung und teilweise Erweiterung fanden, stellt das Cortische Organ eine kunstvolle, durch Stützfasersysteme (die in den fest miteinander verbundenen Pfeilerköpfen entfernt an die Spongiosaarchitektur eines Knochens erinnern) und Ringfassungen versteifte, teils feste, teils federnde Brücken- oder Tragbogenkonstruktion dar, welche geeignet ist, die Wellenschwingungen der Basilar membran, auf welcher diese Konstruktion aufsitzt, auf die Haarzellen zu übertragen. In dieser, hauptsächlich von den Cortischen Pfeilern und Deitersschen Zellen gebildeten Konstruktion sind die Haarzellen nur an ihren beiden Enden befestigt und so ausgespannt, daß sie fast

in ganzer Ausdehnung in unmittelbarer Berührung mit der Endolympe stehen.

Bei der Übertragung der Schallwellenschwingungen spielen die Haare auf den Sinneszellen und die ihnen aufliegende Cortische Haut die Hauptrolle, während die Innenstruktur der Sinneszellen wohl geeignet ist, diese Bewegung zu den ausschließlich an die Haarzellen tretenden Nervenenden zu leiten.

So groß die Fortschritte sind, die unsere Erkenntnis seit Corti über die feinsten histologischen und mechanisch-funktionellen Einrichtungen des von ihm entdeckten Organes gemacht hat, und so zahlreich die morphologischen Einzelheiten sind, die bei einer Hörtheorie berücksichtigt werden müssen, so wenig haben sie bisher für das physiologische Verständnis vom Zustandekommen der Tonempfindung Verwertung gefunden. Wie zur Zeit Cortis können wir mit Bestimmtheit nur in dem von ihm entdeckten Organe den Vermittler und Umformer zwischen Reiz und bewußter Tonempfindung sehen.

## Die Resonanztheorie des Hörens. Ihre Entwicklung und ihr gegenwärtiger Stand.

Von E. Waetzmänn, Breslau.

### I. Darstellung der Theorie.

1. Aufgabe einer Hörtheorie.
2. Die verschiedenen Empfindungsarten des Schalles.
3. Die Grundlagen der Resonanztheorie.
4. Das Ohr als Resonanzapparat.
5. Die physikalischen Eigenschaften der Ohrresonatoren.

### II. Leistungen der Theorie.

6. Tonfarbe und Phase.
7. Schwebungen.
8. Variationstöne.
9. Kombinationstöne.
10. Hörstörungen.

### I. Darstellung der Theorie.

1. *Aufgabe einer Hörtheorie.* Wir wollen uns von vornherein darüber klar sein, was eine Hörtheorie leisten soll und kann und was sie nicht leisten kann. Es ist nicht etwa ihre Aufgabe, das Zustandekommen einer Schallempfindung zu erklären. Eine solche entsteht, wenn die Hörnerven gereizt werden. Über die Umsetzung der Reizung in einen Empfindungsvorgang wissen wir aber gar nichts. Wir können wohl noch die Art der Reizung und die Fortleitung des Reizes zum Gehirn in den Kreis unserer Betrachtungen ziehen, damit ist dann aber auch die Leistungsfähigkeit der exakten Naturwissenschaft erschöpft. Zur Zeit müssen wir sogar mit viel bescheideneren Resultaten zufrieden sein. Es muß uns genügen, wenn eine Hörtheorie die akustischen Vorgänge bis zur Nervenreizung hin in groben Zügen wiedergibt, wenn sie gestattet, uns eine widerspruchsfreie Vorstellung von dem Zustandekommen des gleichzeitigen Hörens verschiedener Töne zu

machen und wenn sich die sonstigen Tatsachen des Hörens, sei es mit dem gesunden oder mit dem kranken Ohr, ihr unterordnen.

Wohl die interessanteste Tatsache des Hörens, welche die Aufmerksamkeit der Akustiker seit jeher in hohem Maße auf sich gelenkt hat, ist die, daß das Ohr imstande ist, *gleichzeitig* verschiedene Schalle, insonderheit Töne verschiedener Höhe, zu unterscheiden. Deshalb hat man schon lange vor *Helmholtz* versucht, sich ein Bild davon zu machen, worauf diese Fähigkeit des Ohres zurückzuführen ist. So tauchte die Hypothese auf, daß sich im Ohr ein Saitenapparat nach Art der verschieden abgestimmten Saiten eines Klaviers befinde, und daß beim gleichzeitigen Erklängen mehrerer Töne diejenigen Saiten zum Mitschwingen kommen, deren Eigentöne als Teiltöne in dem Gesamtklange enthalten sind. Diese Vorstellungen schwebten aber nicht nur in anatomisch-physiologischer Beziehung völlig in der Luft, sondern auch in physikalischer Beziehung fehlte ihnen das Fundament. Erst *Helmholtz* hat im Jahre 1862 die vagen Vorstellungen und vereinzelter Ideen, die bis dahin vorlagen, in eine gut begründete und korrekt durchgeführte Theorie umgewandelt.

Da die *Resonanztheorie* des Hörens in den Mittelpunkt ihrer Betrachtungen das *gleichzeitige* Hören von Tönen *verschiedener* Höhe stellt, so ist sie in erster Linie als eine *Theorie der Klanganalyse* anzusprechen und zu bewerten. M. E. liegt aber bei *jeder* Hörtheorie das Hauptkriterium für ihre Brauchbarkeit bzw. Unbrauchbarkeit darin, ob sie die Fähigkeit des menschlichen Ohres zur Klanganalyse in befriedigender Weise darstellt oder nicht. Solange es sich nämlich nur um die Wahrnehmung eines *einzelnen* Tones handelt, bestehen keinerlei Schwierigkeiten, sich den Vorgang bis zur Nervenreizung wenigstens im Prinzip klar zu machen. Die Luftschwingungen werden durch das Trommelfell und die Gehörknöchelchenkette zum inneren Ohr übertragen, die Labyrinthflüssigkeit kommt zum Mitschwingen und die eingebetteten Nervenendigungen werden im Tempo der Schwingungen erregt. Grundsätzliche Schwierigkeiten treten erst auf, wenn die gleichzeitige Wahrnehmung von mehreren, verschiedenen Tönen erklärt werden soll.

2. *Die verschiedenen Empfindungsarten des Schalles.* Wenn man eine Theorie des Hörens aufstellen will, so muß man vorerst die einzelnen Tatsachen des Hörens, welche die Theorie verständlich machen soll, genau kennen.

Das Wort Schall wird in der Akustik in doppeltem Sinne gebraucht. Erstens und vor allem bedeutet es eine Empfindung, und zwar definiert *Helmholtz* die Schallempfindung als die dem Ohre eigentümliche Reaktionsweise gegen äußere Reizmittel. Zweitens wird es aber auch für dieses äußere Reizmittel gebraucht. Im letzteren Sinne ist der Schall also etwas Objektives, nämlich der physikalische Bewegungsvorgang, welcher der be-



treffenden Empfindung zugrunde liegt. Diese Doppeldeutigkeit des Begriffes, die auch bei den Bezeichnungen für die verschiedenen Arten des Schalles (Klang, Geräusch usw.) wiederkehrt, kann natürlich gelegentlich zu Konfusionen führen. Auf der anderen Seite ist diese Bezeichnungsweise aber so bequem, daß die Akustiker kaum darauf verzichten werden, die Ausdrücke, welche zunächst Empfindungen bedeuten, auch für die äußeren Reizmittel zu benutzen.

Man unterscheidet drei Hauptarten von Schall, nämlich *Knall*, *Geräusch* und musikalische *Klänge*. Bezüglich der *Knallempfindung* neigt man jetzt zu der Ansicht, daß sie zustande kommt, wenn das Ohr nicht von einer allmählich sich ändernden, sondern plötzlich in voller Stärke einsetzenden Luftverdichtung oder -verdünnung getroffen wird. Das Bild der Schallwelle würde dann eine steilabfallende Vorderfront zeigen, und der Empfindungseindruck soll sich um so mehr einer ausgesprochenen *Knallempfindung* nähern, je steiler der Abfall ist. Für den Aufbau einer Hörtheorie spielt die *Knallempfindung* nur eine untergeordnete Rolle. Das gleiche gilt von der *Geräuschempfindung*. Die übliche Annahme über das Zustandekommen einer solchen ist die, daß sie durch nicht-periodische Bewegungen elastischer Körper erzeugt wird.

Ein *Klang* ist im physikalischen Sinne des Wortes eine komplizierte periodische Bewegung des („klingenden“) Körpers, im psychologischen Sinne die hierdurch verursachte Empfindung. In dem Spezialfall, daß die periodische Bewegung sinusförmig (pendelförmig) ist, geht der Klang über in einen *Ton*, den man oft noch mit Beiwörtern wie „rein“ oder „einfach“ versieht. Diese, wie *G. S. Ohm* sagt, „aus alter Zeit herstammende“ Definition des Tones wurde auf Grund von Versuchen *Savarts*, *Cagniard de Latours* und *Seebecks* an der Sirene namentlich von *Seebeck* energisch bekämpft, von *Ohm* (1843) aber „in ihr volles Recht wieder eingesetzt“. *Helmholtz* hat dann die Argumentationen *Ohms* bestätigt und ergänzt. Auch eine gedämpfte Sinusschwingung, die nicht mehr periodisch im strengen Sinne des Wortes ist, erzeugt noch eine annähernd reine Tonempfindung (abklingender Ton). Hierbei hat der Psychologe noch zu prüfen, ob überhaupt eine Tonempfindung eine wirklich *einfache* Empfindung ist. Bezüglich der Wahrnehmung kann mit Sicherheit behauptet werden, daß es „Klänge“ gibt, welche selbst für das geübteste Ohr aus einem einzigen Tone bestehen. Für die Wahrnehmung existieren also bestimmt „einfache“ Töne. Während der Ton im physikalischen Sinne des Wortes durch Schwingungszahl (Höhe) und Amplitude (Stärke) eindeutig bestimmt ist, können die Tonempfindungen noch weitere Unterschiede (Tonfarbe, § 6) aufweisen.

3. *Die Grundlagen der Resonanztheorie.* Wir wollen jetzt möglichst genau präzisieren, welche Tatsache des Hörens die Resonanztheorie in

erster Linie erklären will und wollen feststellen, welches die *mathematischen und physikalischen Grundlagen dieses Erklärungsversuches* sind. Die zu erklärende Tatsache ist in dem Gesetz von *G. S. Ohm* enthalten, nach welchem das menschliche Ohr nur eine spezielle Art von Luftschwingungen, nämlich pendelförmige, als einfache Töne empfindet, und *jede andere periodische Luftbewegung in eine Reihe pendelförmiger Bewegungen zerlegt, deren jede bei genügender Stärke die Empfindung eines Tones hervorruft*. Das Ohr zerlegt also jeden Klang in eine Summe von Partialtönen, Grundton und Obertöne.

Die von der Resonanztheorie hierfür gegebene Erklärung beruht auf einem mathematischen Satz und auf einer mit ihm in engster Beziehung stehenden physikalischen Tatsache. Der mathematische Satz ist der Satz von *Fourier*, den wir für unsere Zwecke in folgender Form aussprechen können: Jede beliebige periodische Bewegung (Schwingungsbewegung) läßt sich darstellen — und zwar nur auf eine Weise darstellen — als eine Summe von pendelförmigen Schwingungen verschiedener Perioden und einem konstanten Gliede. Wenn wir bedenken, daß ein Klang durch eine beliebige periodische Bewegung, ein Ton durch eine pendelförmige Bewegung gegeben ist, so zeigt also der *Fouriersche Satz*, daß es *mathematisch möglich* ist, einen Klang als eine Summe von Tönen aufzufassen. Damit ist aber noch nicht gesagt, daß diese mathematische Darstellung eines „Klanges“ nun auch einen physikalischen Sinn hat, obwohl die entsprechende Zerlegung durch das Ohr schon darauf hindeutet, daß das wohl der Fall sein dürfte. In der Tat läßt sich nachweisen, daß die einzelnen Partialtöne (Pendelschwingungen) einer Klangmasse (komplizierte Schwingung) unabhängig vom Ohre gewisse objektive Wirkungen auszuüben vermögen. Diese objektive Wirkung besteht darin, daß irgendwelche schwingungsfähigen Gebilde (Resonatoren) zum Mitschwingen kommen, wenn ihre Eigentöne als Partialtöne in der auftretenden Klangmasse enthalten sind. So wird die auftretende komplizierte Schwingung physikalisch in ein Nebeneinander (Summe) von Pendelschwingungen aufgelöst, genau entsprechend den rein mathematischen Aussagen des *Fourierschen Satzes*.

Also auf mathematischem Gebiete der *Fouriersche Satz*, auf physalischem das Phänomen des Mitschwingens — das sind die objektiven Grundlagen der Resonanztheorie des Hörens.

4. *Das Ohr als Resonanzapparat.* Im inneren Ohre sollen also bestimmte Gebilde vorhanden sein, die auf die verschiedenen Töne abgestimmt sind. Erklängt dann im Außenraum irgendein Ton, so schwingt in erster Linie der auf ihn abgestimmte Resonator mit; nach beiden Seiten, sowohl nach den höher als nach den tiefer abgestimmten Resonatoren hin, nimmt die Stärke des Mitschwingens rasch ab, so daß *auf einen bestimmten Ton, nur eine bestimmte, begrenzte*

Gruppe von Resonatoren anspricht. Demgemäß sollen durch einen Klang nur bestimmte Gruppen von Resonatoren erregt werden. So wird jeder einzelne in dem Klange enthaltene Partialton an einer bestimmten Stelle des Resonatorenapparates lokalisiert. Die mit den betreffenden Resonatoren in irgendeiner Weise gekoppelten Nervenendigungen werden im Tempo der Resonatoreigenerschwingungen gereizt, und hierdurch wird die Empfindung eines Tones von der gleichen Schwingungszahl vermittelt.

Nach *Helmholtz* soll nun jede Nervenfasern, gleichgültig, auf welche Weise sie erregt wird, nur eine ganz bestimmte Empfindung dem Bewußtsein vermitteln, die sich von der Empfindung, welche eine andere Nervenfasern vermittelt, unterscheidet. Das ist das sogenannte Prinzip der spezifischen Energien, und zwar in einer besonders engen Fassung. Wenn wir es annehmen wollen, müssen wir sogleich eine Einschränkung machen. Auf einen gegebenen Ton schwingt ja nicht nur ein einziger Resonator mit, sondern eine ganze Anzahl von Resonatoren. Infolgedessen dürften bei der Empfindung eines Tones mehrere Nervenfasern beteiligt sein. Halten wir uns streng an die *Helmholtzsche* Annahme über die spezifischen Energien, so dürfte folgen, daß der objektiv einfache Ton nicht eine einfache Tonempfindung erzeugt, sondern eine aus mehreren Tonempfindungen zusammengesetzte, nämlich aus allen denen, die den erregten Nervenfasern zugehören. Das ist eine unangenehme Konsequenz, der man durch die weitere Annahme entgehen kann, daß die jeder einzelnen Nervenfasern entsprechende spezifische Energie nicht absolut unveränderlich ist, sondern ein gewisses Akkommodationsvermögen besitzt. Wir würden anzunehmen haben, daß eine gleichzeitig gereizte Gruppe von benachbarten Nervenfasern sich zu einer spezifischen Energie zu vereinigen imstande ist, eine Anschauung, die von *C. Stumpf*<sup>1)</sup> nicht nur für möglich, sondern sogar für höchstwahrscheinlich gehalten wird. In neuerer Zeit hat *E. Budde*<sup>2)</sup> die trotz der Ausgedehntheit der Erregungszone des Resonatorenapparates bestehende Einfachheit der Tonempfindung darauf zurückführen wollen, daß er mit *O. Fischer*<sup>3)</sup> die zweifellos berechnete Annahme macht, daß nur die stark mitschwingenden Resonatoren zur Nervenreizung beitragen und daß das Ohr denjenigen Ton vernimmt, der dem maximal schwingenden Resonator zukommt. Diese letzte Annahme ist aber gerade erst zu begründen, bevor sie die Entstehung des einfachen Tones erklären kann, denn auch der Bezirk der stark mit-

schwingenden Resonatoren hat eine gewisse Breite und die Begründung liegt eben in der erwähnten Stumpfschen Vorstellung. Jedoch muß betont werden, daß das Prinzip der spezifischen Sinnesenergien durchaus noch nicht endgültig geklärt ist.

Die Hauptfrage in anatomisch-physiologischer Beziehung ist die, welche Gebilde im Ohre als die abgestimmten Resonatoren anzusehen sind. Die meisten Forscher, welche überhaupt an der Resonanztheorie festhalten, sind jetzt wohl der Ansicht, daß die Resonatoren in den Radialfasern der Basilarmembran zu suchen seien, und ferner, daß die Hörzellen die perzipierenden Elemente seien, auf welche die Membran ihre Schwingungsenergie übertragen müsse. Den Härchen der Hörzellen gegenüber, ungefähr parallel der Basilarmembran, liegt die Cortische Membran oder membrana tectoria. Auf einen bestimmten Ton würde dann eine bestimmte Zone der Basilarmembran mitschwingen, hierbei würden die Härchen der Hörzellen gegen die Cortische Membran stoßen und hierdurch würde der Nervenreiz bewirkt werden. Dabei muß man annehmen, daß die Härchen nur dann die Cortische Membran erreichen, wenn ein schmaler Streifen der Basilarmembran bedeutend stärker als die benachbarten Stellen, also in Resonanz schwingt, denn eine Bewegung der ganzen Basilarmembran von überall gleicher Amplitude würde die Cortische Membran, da sie, wie es scheint, ebenfalls gezwungen ist, den Bewegungen der Labyrinthflüssigkeit zu folgen, gleichsinnig mitmachen, so daß auch während der Schwingungen der Abstand der Basilarmembran und damit der Hörhärchen von der Cortischen Membran annähernd derselbe bliebe. Diese von *O. Fischer* im einzelnen präzierte Vorstellung ist besonders wichtig im Hinblick auf ein von *M. Wien*<sup>4)</sup> gegen die Resonanztheorie erhobenes Bedenken und scheint dasselbe im wesentlichen zu beseitigen.

Ob die Basilarmembran wirklich imstande ist, in der angegebenen Weise (*Hensen* und *Helmholtz*) zu schwingen, läßt sich wegen ihrer schweren Zugänglichkeit auf direktem Wege nicht untersuchen; wenigstens sind bisher keine Aussichten hierfür vorhanden. Dagegen ist es gelungen (*Hensen*, *A. M. Mayer*), an Krebsen und Insekten das Verhalten anderer Gebilde (Hörhaare der Dekapoden, Fühler von *Culex Mosquito*), die aber von ähnlichen Dimensionen wie die Querfasern der Basilarmembran sind, direkt zu beobachten, während Töne auf sie einwirken. Wenn diese Versuche wirklich zuverlässig sind, so beweisen sie, daß tatsächlich Gebilde von derart kleinen Dimensionen auf Töne aus dem mittleren Teil der Tonskala abgestimmt sein können, ein für das Fundament der Resonanztheorie recht wichtiges Ergebnis.

Man hat auch auf indirektem Wege, mit Versuchstieren, versucht, die Resonanztheorie zu

<sup>1)</sup> *C. Stumpf*, Tonpsychologie, 2 Bde. Leipzig 1883 u. 1890.

<sup>2)</sup> *E. Budde*, Verh. d. D. Phys. Ges. 18, 369, 1916. Ferner Physik. Zeitschr. 18, 225, 1917 (Budde I) und *E. Budde* in *Abderhaldens* Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. V, Teil 7, Heft 1, 1920 (Budde II).

<sup>3)</sup> *O. Fischer*, Ann. d. Phys. 25, 118, 1908.

<sup>4)</sup> *M. Wien*, Festschrift für *Wüllner*, Leipzig 1905.



prüfen. Man kann hierbei zwei Hauptgruppen von Versuchen unterscheiden. In der ersten Gruppe gehen die Experimentatoren in der Weise vor, daß zunächst durch operativen Eingriff ein Teil der Schnecke zerstört wird, daß dann das Gehör geprüft wird, und daß endlich durch Sektion Art und Umfang der Schädigungen der Schnecke festgestellt werden. In der zweiten Gruppe werden die Versuchstiere bei zunächst normalem Zustande des Gehörorgans der Einwirkung sehr starker Töne ausgesetzt und nachher seziert. Besonders zu betonen ist, daß bei allen Versuchen der zweiten Gruppe die durch die übermäßig starken Schalleinwirkungen alterierten Zonen der Schnecke einen auffallend großen Umfang besaßen, woraus man vielfach auf das Nichtvorhandensein der von der Helmholtzschen Theorie geforderten scharfen Abstimmung geschlossen hat. Ohne die Schwierigkeiten, welche sich aus der Größe des Umfanges der geschädigten Zonen ergeben, irgendwie unterschätzen zu wollen, scheint es doch nicht richtig, sie allzusehr in den Vordergrund zu rücken, zumal gar nicht zu übersehen ist, inwieweit ein an einer bestimmten Stelle hervorgerufener Entzündungsprozeß sich selbsttätig ausbreitet. Im ganzen genommen wird man bei aller Vorsicht, die man bei der Deutung derartiger Versuche unbedingt walten lassen muß, mindestens sagen dürfen, daß sie eher für als gegen die Helmholtzsche Theorie sprechen.

Im übrigen brauchen wir auf Einzelheiten der anatomisch-physiologischen Fragen in dem vorliegenden Artikel nicht näher einzugehen, da in dem gleichen Heft dieser Zeitschrift von berufener Seite hierüber geschrieben werden soll. Wir dürfen einfach die Annahme an die Spitze stellen, daß irgendwelche abgestimmten Gebilde im inneren Ohre vorhanden sind, und haben nun zu versuchen, über die physikalischen Eigenschaften dieser Resonatoren nähere Aussagen zu machen. Nur noch eine in ihrer Einfachheit äußerst elegante Vorstellung über die Resonanzvorgänge im inneren Ohre, die von *F. Lux*<sup>5)</sup> herührt, muß auch von physikalischer Seite besonders erwähnt werden. Nach *Lux* sollen die Vorhofstreppe und die Paukentreppe als die beiden Schenkel eines kommunizierenden Rohres angesehen werden, deren Länge infolge der membranösen Beschaffenheit der Trennungswand (Basilarmembran, Reißnersche Membran usw.) variabel ist, so daß schon auf diese Weise Abstimmung auf verschieden hohe Töne zustande kommen kann. Fig. 1 zeigt in ganz schematischer Darstellung mit gerade gestreckter Schnecke einen Längsschnitt durch dieselbe nach *O. Fischer*. Bei einer Einwärtsbewegung der Steigbügelplatte wird die Labyrinthflüssigkeit zu der nachgiebigen Membran des runden Fensters gedrängt, indem die membranöse Scheidewand, die sich durch fast die ganze Längsausdehnung der Schnecke hindurchzieht, nach der Seite des runden Fensters

zu ausgebuchtet wird, da das Helicotrema zu klein ist und zu weit abliegt, als daß die Flüssigkeitsbewegung in erheblichem Maße durch dasselbe vermittelt werden könnte. Seine Aufgabe besteht nach *Budde*<sup>6)</sup> nur darin, dauernde Druckunterschiede zwischen beiden Hälften der Schnecke unmöglich zu machen. Durch die Luxsche Vorstellung würde auch ohne weiteres verständlich werden, warum die Basilarmembran am Anfang der Schnecke ihre geringste Breite hat (hochabgestimmte Fasern) und bis zum Ende hin allmählich an Breite zunimmt (tiefer abgestimmte Fasern).

Als Abschluß dieses Paragraphen soll noch eine Hörtheorie kurz besprochen werden, die von ihrem Urheber ebenfalls als Resonanztheorie bezeichnet wird, und die sich namentlich in Physiologenkreisen außerordentlicher Wertschätzung erfreut. Es ist dies die sogenannte Schallbilder-

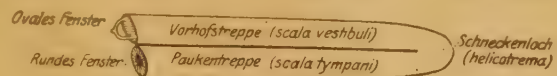


Fig. 1. Schematischer Längsschnitt durch die Schnecke.

theorie von *Ewald*<sup>7)</sup>. Sie geht von der Vorstellung aus, daß sich beim Auftreffen eines Tones nicht quer, sondern längs der Basilarmembran stehende Wellen ausbilden. Die so entstehenden Schwingungsformen bezeichnet *Ewald* als Schallbilder, die nun als Ganzes durch Vermittlung der Fasern des Hörnerven im Zentralorgan die Tonperzeption auslösen sollen. Jedem Ton entspricht ein für ihn charakteristisches Schallbild, indem mit zunehmender Tonhöhe die Wellenlänge des Schallbildes kleiner wird. Ein Klang ergibt eine Superposition der den Partialtönen entsprechenden Schallbilder, jedoch so, daß die Einzelbilder kenntlich bleiben. Zur Begründung und Prüfung seiner Theorie hat *Ewald* Versuche mit dünnen, langgestreckten, passend gespannten Kautschukmembranen von sehr zarter Konsistenz und ähnlicher Dimensionierung, wie sie die Membranen des Innenohres besitzen, angestellt und hat zahlreiche „Schallbilder“ (Klangfiguren), wie sie oben beschrieben worden sind, photographiert. Ob diese Versuche aber wirklich als „experimentelle Bestätigung“ der Schallbildertheorie anzusehen sind, bleibt recht zweifelhaft.

Vom rein physikalischen Standpunkte aus muß betont werden, daß die Vorstellung, welche die Schallbildertheorie von dem gleichzeitigen Hören verschiedener Töne geben will, nicht annähernd so befriedigend ist, wie die entsprechende Vorstellung der Helmholtzschen Theorie. Ebenso wird der Physiker nicht zugeben können, daß es sich um eine „Resonanztheorie“ handelt, denn dieser Name darf nicht bei jeder beliebigen erzwungenen Bewegung benutzt werden, sondern nur

<sup>5)</sup> *E. Budde* I, S. 227.

<sup>7)</sup> *Ewald*, Pflügers Archiv f. d. ges. Physiol. 131, 1910.

<sup>6)</sup> Mitgeteilt bei *Budde* I, S. 259.

für den Fall wenigstens einigermaßen guter Abstimmung zwischen erregendem Ton und erregtem Körper. Vielleicht muß man sogar sagen, daß die Schallbildertheorie in der physikalischen Erklärung der Befähigung des Ohres zur Klanganalyse überhaupt versagt, denn es fehlt bei ihr die räumliche Trennung der den einzelnen Tönen entsprechenden Schwingungen. Sollte also der Beweis gelingen, daß die Basilarmembran wirklich in der Art schwingt, wie es *Ewald* annimmt, dann würde m. E. daraus folgen, daß uns das Zustandekommen der Klanganalyse wieder völlig dunkel wird.

5. *Die physikalischen Eigenschaften der Ohrresonatoren.* Die Grundfrage betreffs der Eigenschaften eines Resonators ist die Frage nach der Stärke seiner Dämpfung oder, was auf dasselbe hinauskommt, nach der Schärfe seiner Abstimmung. Schwacher Dämpfung (Stimmgabel) entspricht scharfe Resonanz, starker Dämpfung (Trommelfell) schlecht ausgeprägte Resonanz. Als Maß für die Dämpfung benutzen wir das sogenannte logarithmische Dekrement  $\Delta = \frac{2\pi k}{v}$

wo  $v$  die Eigenschwingungszahl des Resonators in der Sekunde ist und  $k$  die sogenannte Dämpfungskonstante. Sie gibt ihrerseits den reziproken Wert der Zeit an, innerhalb deren die Schwingungsamplitude auf den  $e$ -ten Teil ihres Anfangswertes herabsinkt. Bei gleichem logarithmischen Dekrement zweier Resonatoren von verschiedenen Eigentönen sind ihre Resonanzkurven gleich scharf, während bei gleichen Abklingzeiten der Resonator mit dem höheren Eigentone schärfere Abstimmung zeigt.

*Helmholtz* suchte die relative Stärke der Dämpfung der einzelnen Ohrresonatoren zu bestimmen, indem er davon ausging, daß der Grad der „Rauhigkeit“ der engeren dissonierenden Zusammenklänge bei gleichen Intervallen durch die ganze Skala hin ziemlich derselbe sei. Er kam hierbei zu dem Ergebnis, daß das logarithmische Dekrement für alle Ohrresonatoren in grober Annäherung das gleiche sein dürfte. Freilich vermag ich hierbei weder die Voraussetzung noch den Schluß von *Helmholtz* als bindend anzusehen<sup>9)</sup>. Zu dem gleichen Schluß führten ihn Versuche über die Zahl der wahrnehmbaren „Unterbrechungsschwebungen“ und über die Schnelligkeit von Trillern. *A. M. Mayer* hatte festzustellen versucht, wie oft ein Ton in der Sekunde unterbrochen werden darf, bevor die Unterbrechungen verschwinden und fand in dem Intervall von  $C$  bis  $c^3$  ein Ansteigen der zulässigen Unterbrechungszahl von 16 auf 135 in der Sekunde. Diese Versuche schienen auf viel kürzere Abklingzeiten der höher abgestimmten Ohrresonatoren hinzudeuten. Jedoch ist bei der

quantitativen Deutung derartiger Versuche große Vorsicht geboten. Es sind dabei nicht nur die physikalischen Verhältnisse, wie das Zeitverhältnis zwischen Tondauer und Unterbrechungsdauer, genau zu beachten, sondern auch die subjektiven Vorgänge des An- und Abklingens einer Tonempfindung. So haben *O. Abraham* und *K. Marbe*<sup>9)</sup> darauf hingewiesen, daß die besprochenen Versuche nicht beweiskräftig sind.

Das gleiche gilt von den *Helmholtz*schen Trillerversuchen. Er gibt an, daß „Triller von je zehn Schlägen auf die Sekunde im größten Teile der Skala scharf und klar auszuführen“ seien und erst in der tieferen Gegend der Tonskala, etwa bei  $A$ , anfangen undeutlich zu werden. Nun wird aber ein Triller nicht klar sein, wenn nicht jeder Trillerton, ehe er wieder einsetzt, auf einen erheblichen Bruchteil seiner ursprünglichen Intensität herabgesunken ist. Indem *Helmholtz* für den Ton  $A$  eine bestimmte Annahme über diesen Bruchteil macht ( $1/10$ ), hat er für diese Gegend der Tonskala den Dämpfungsgrad auch absolut festgelegt. Die Intensität eines Ohrresonators soll, während er etwa zehn Schwingungen ausführt, auf den zehnten Teil seiner ursprünglichen Intensität herabsinken. Und nun zieht *Helmholtz* ohne weiteres den überraschenden Schluß, den ich ebenfalls nicht mitzumachen vermag, daß dieser Wert der Dämpfung für alle Ohrresonatoren gilt. Aus der oben zitierten Angabe hätte man vielmehr den Schluß erwartet, daß die Abklingzeiten für alle Ohrresonatoren etwa die gleichen sind. Das würde bedeuten, daß das logarithmische Dekrement mit wachsender Höhenlage der Resonatoren viel kleiner, also ihre Resonanzschärfe viel größer wird. Freilich ist aus dem zitierten Satz nicht mit Sicherheit zu ersehen, ob *Helmholtz* wirklich die Maximalzahl der deutlichen Triller in den verschiedenen Tonlagen festgestellt hat, oder ob er vielleicht stillschweigend auf Grund der Beobachtungen über Rauhigkeit und über Unterbrechungsschwebungen angenommen hat, daß sich in höheren Lagen entsprechend schnellere Triller ausführen lassen als in den tiefen. *O. Abraham* und *Carl L. Schaefer*<sup>10)</sup> haben dann gefunden, daß, abgesehen von den Grenzlagen, in allen Oktaven ungefähr gleich schnell getrillert werden kann, und daß auch das Intervall der beiden Trillertöne hierbei keinen nennenswerten Unterschied macht. Vom Verf. wurden diese Versuche mit im wesentlichen gleichem Ergebnis wiederholt und namentlich in der Richtung ergänzt, daß die relative Dauer der beiden Trillertöne variiert wurde. Aus diesen Versuchen scheint im Gegensatz zu *Helmholtz* zu folgen, daß nicht die logarithmischen Dekremente, sondern die Abklingzeiten der Ohrresonatoren unabhängig von der Höhenlage angenähert die gleichen sind. *Hohen*

<sup>9)</sup> Näheres hierüber s. *E. Waetzmann*, Die Resonanztheorie des Hörens. Braunschweig 1912. In dem vorliegenden Aufsatz schließe ich mich vielfach eng an die Darstellung in diesem Buche an.

<sup>9)</sup> *K. Marbe*, Pflügers Archiv d. ges. Physiol. 100, 1903.

<sup>10)</sup> *O. Abraham* u. *Karl L. Schaefer*, Zeitschr. f. Psychol. d. Sinnesorgane 20, 1899.



Tönen würden also *schmalere Erregungszonen* auf der Basilarmembran entsprechen als tiefen.

Für diese Annahme scheint mir besonders auch noch folgendes zu sprechen: Werden gleichzeitig zwei nahe beieinander liegende Töne angegeben, so hört man bei geeignetem Intervall nicht die beiden Primärtöne, sondern nur einen zwischen ihnen liegenden Ton, den sogenannten Zwischen-ton. *F. Krueger*<sup>11)</sup> hat nun als „charakteristischen Unterschied“ der Höhenlagen gefunden, daß in den höheren Oktaven die beiden Primärtöne viel näher beieinander liegen müssen, um zu einem Zwischenton zu verschmelzen, als in den tieferen Oktaven. Das wird sofort verständlich, wenn man die Helmholtzsche Annahme gleich scharfer Abstimmung aller Ohrresonatoren fallen läßt und den hochabgestimmten eine größere Resonanzschärfe zuschreibt als den tiefabgestimmten.

Abschließend sei aber betont, daß nicht nur die Helmholtzschen Argumentationen durchaus unsichere sind, wie ihm selbst auch bewußt war, sondern daß ähnliches von den Versuchen — selbstverständlich einschließlich derjenigen des Verf. — gilt, die uns zu einer der Helmholtzschen beinahe entgegengesetzten Hypothese über die relative Resonanzschärfe der einzelnen Ohrresonatoren führten. Namentlich bei den Versuchen über Unterbrechungsschwebungen und Triller könnten leicht Täuschungen durch sekundäre Klangerscheinungen eintreten. Auf der anderen Seite scheint mir aber z. Zt. unsere Annahme wesentlich besser begründet zu sein, als die Helmholtzsche, wenn die Wahrheit vielleicht auch mehr in der Mitte liegen wird.

## II. Leistungen der Theorie.

Die Resonanztheorie gibt uns nicht nur eine elegante Erklärung für die Fähigkeit des Ohres zur Klanganalyse, sondern sie vermag auch den sonstigen Tatsachen des Hörens im allgemeinen in befriedigender Weise gerecht zu werden. Das sollen die nächsten Paragraphen zeigen.

6. *Tonfarbe und Phase*. Eine erste Konsequenz verschieden scharfer Abstimmung der einzelnen Ohrresonatoren würde die sein, daß sich die Empfindungen zweier Töne außer durch ihre Höhe und Stärke noch durch ein Drittes unterscheiden können. Es ist durchaus wahrscheinlich, daß sich der verschiedene Umfang der Erregungszonen für verschieden hohe Töne auch in der Empfindung bemerkbar machen müßte. In der Tat schreibt *Stumpf* einem Ton neben seiner Stärke und Höhe (Helligkeit) noch eine bestimmte „Größe“ zu und faßt diese drei Faktoren unter dem Namen „Tonfarbe“ zusammen. Von physikalischer Seite ist die Einführung des Begriffs der Tonfarbe auf das entschiedenste bekämpft worden, mit dem Hinweis darauf, daß die „Helligkeit“ nichts anderes als die Höhe sei und daß der Begriff der Größe des Tones restlos in dem der Stärke aufgehe. Jedoch scheint mir bei

dieser Stellungnahme der Physiker eine Verwechselung des physikalischen „Tones“ und der Tonempfindung vorzuliegen. Der erstere ist durch Amplitude und Schwingungszahl restlos charakterisiert, die letztere aber nicht. Tiefe Töne erscheinen in der Empfindung dunkel, dumpf, breit und massig, während wir hohe Töne, entsprechend den ausgelösten Empfindungen, als hell, dünn, spitzig, scharf usw. zu bezeichnen pflegen. Unsere Vorstellung über die schärfere Abstimmung der höheren Ohrresonatoren gegenüber den tiefen scheint mir nun das physiologische Äquivalent für diese verschiedenen Empfindungsarten zu geben<sup>12)</sup>. Erwähnt sei, daß von physiologischer Seite<sup>13)</sup> die Helmholtzschen Annahmen über die Schwingungen der Basilarmembran direkt aus dem Grunde abgelehnt worden sind, weil sie — unter Zugrundelegung gleicher Resonanzschärfe in allen Tonlagen — die verschiedene „Breite“ der Tonempfindungen nicht verständlich zu machen vermögen.

Handelt es sich nicht mehr um die Empfindung eines Tones, sondern um die eines Klanges, so entsteht die Frage, ob die gegenseitige Phase der einzelnen Partialtöne einen Einfluß auf die Empfindung hat. Vom Standpunkte der Resonanztheorie aus wäre das nicht zu begreifen, denn nach ihr setzt jeder Partialton einen gesonderten Komplex von Ohrresonatoren in Schwingungen, und die Empfindung, die von den Schwingungen ausgelöst wird, ist völlig unabhängig von der Phase, mit der dieselben einsetzen. Verschiedene Beobachter haben nun auch übereinstimmend konstatiert, daß die Klangempfindung von der gegenseitigen Phase der Partialtöne *unabhängig* ist, vorausgesetzt, daß die Partialtöne so weit auseinander liegen, daß keine Interferenz eintritt<sup>14)</sup>. Daß sich im letzteren Falle die Phase indirekt bemerkbar machen müßte, dürfte ohne weiteres verständlich sein. Übrigens ist die Unabhängigkeit der Klangempfindung von der Phase eine Forderung der Resonanztheorie, die mit den *speziellen* Annahmen über den Grad der Dämpfung der Ohrresonatoren nichts zu tun hat.

7. *Schwebungen*. Als Schwebungen im engeren Sinne des Wortes oder auch Interferenzschwebungen bezeichnet man die periodischen Amplituden- bzw. Intensitätsschwankungen, die bei der Übereinanderlagerung zweier benachbarten Töne auftreten. Die Maxima der Schwebungen heißen Stöße. Werden zwei benachbarte Töne zum Ohre geleitet, so ist die Luftwelle eine Schwebungswelle, ebenso folgen Trommelfell und Gehörknöchelchen den Schwebungen der beiden Töne. In dem Resonatorenapparat im inneren Ohre wird aber die Schwebungswelle wieder in ihre Bestandteile, die beiden einfachen Töne, zerlegt. Wäre die Dämpfung der Ohrresonatoren so

<sup>12)</sup> *E. Waetzmann*, *Folia Neuro-biologica* 6, 24, 1912.

<sup>13)</sup> *O. Lehmann*, *Folia Neuro-biologica* 4, 116, 1910.

<sup>14)</sup> *F. Lindig*, *Ann. d. Phys.* 10, 242, 1903.

<sup>11)</sup> *F. Krueger*, *Wundts Philos. Studien* 16, 1900.

schwach bzw. ihre Resonanzschärfe so ausgeprägt, daß auf jeden Ton nur ein einziger Resonator anspräche, so müßten die beiden Töne glatt abfließend, ohne Schwebungen nebeneinander gehört werden, oder wir müßten, falls doch Schwebungen gehört würden, auf eine physikalische Erklärung verzichten und ihr Zustandekommen auf einen uns unbekannten Vorgang im Zentralorgan zurückführen. Da aber die Ohrresonatoren nach den vorhergehenden Auseinandersetzungen eine recht erhebliche Dämpfung besitzen, so greifen die Erregungszonen der beiden Primärtöne, wenn die Töne genügend nahe beieinander liegen, ineinander über, und die von beiden Tönen gleichzeitig erregten Resonatoren führen wieder eine schwebende Schwingung aus, die zu Schwankungen der Empfindungsintensität Anlaß gibt.

Die Intervalle der Primärtöne, bei denen Schwebungen noch festzustellen sind, werden nach den tiefen Lagen hin recht groß. Während in der fünfgestrichenen Oktave das größte Intervall etwa die kleine Sekunde ist, ist es in der dreigestrichenen etwa die große Terz, in der großen Oktave etwa die Quinte. Auch diese Ergebnisse sprechen für recht erhebliche Dämpfung der Ohrresonatoren. Dagegen erlauben sie noch nicht — wie es auf den ersten Blick scheinen könnte — den Schluß, daß die Schärfe der Abstimmung der Ohrresonatoren nach der Höhe hin zunimmt, denn die geringere Weite der Grenzintervalle in den höheren Lagen ist auch mit darauf zurückzuführen, daß bei gleichem Intervall die Zahl der Schwebungen mit der Höhenlage wächst. Dagegen deuten auf schärfere Abstimmung der höheren Ohrresonatoren die oben erwähnten Beobachtungen am „Zwischenton“ hin. Desgleichen eine gelegentliche Beobachtung von *Stumpf*, daß Schwebungen von gleicher, aber nicht zu großer Schnelligkeit, unter sonst gleichen Bedingungen in verschiedenen Höhenlagen dieselbe Empfindungsstärke besitzen.

Ein recht schwieriger Punkt ist die Tonhöhe bei den Schwebungen. *Stumpf* und ebenso dem Verf. ist es nicht gelungen, Höenschwankungen des schwebenden Tones mit Sicherheit wahrzunehmen, während *Helmholtz* derartige Schwankungen beobachtet hat, nachdem er von *Guérolt*, dem Übersetzer der „Tonempfindungen“ in das Französische, auf dieses Phänomen aufmerksam gemacht worden war. Allerdings ist die *Helmholtz*sche theoretische Ableitung, wie Verf.<sup>15)</sup> gezeigt hat, und wie neuerdings auch *Budde*<sup>16)</sup> zugegeben hat, nicht aufrecht zu erhalten. Dagegen hat *Budde*<sup>17)</sup> selbst darauf hingewiesen, in welcher Weise eine Verschiebung des Resonanzmaximums und damit eine Änderung der Tonhöhe während einer Schwebung zustande kommen könnte. Alles in allem muß die Frage der

Tonhöenschwankungen zum mindesten als noch nicht geklärt angesehen werden. Wie es scheint, kann man aber schon heute sagen, daß sich für die Resonanztheorie auch dann keine Schwierigkeiten ergeben werden, wenn weitere Beobachtungen ein Schwanken der Tonhöhe tatsächlich sicherstellen sollten.

8. *Variationstöne*. Ein einfacher Ton, dessen Amplitude periodischen Schwankungen unterworfen wird, wird bei passender Wahl der Zahl und Stärke der Schwankungen nicht einfach als Ton von wechselnder Intensität empfunden, sondern man hört neben dem ursprünglichen Ton mehr oder weniger deutlich noch eine Reihe weiterer Töne. Ja, es kann vorkommen, daß der ursprüngliche Ton vollkommen verschwindet und statt seiner ganz neue Töne auftreten. So überraschend namentlich das letzte Resultat auf den ersten Blick erscheinen mag, so leicht wird es auf dem Boden der Resonanztheorie verständlich. Ein Ton — physikalisch gesprochen — hört in dem Augenblick auf ein einfacher Ton zu sein, in welchem die Amplitude periodischen Schwankungen unterworfen wird. Die „Amplitude“ ist jetzt keine Konstante mehr, sondern selbst eine Funktion der Zeit wie die Elongation des einfachen Tones. Um festzustellen, welche Töne der so abgeänderte Schwingungsvorgang ergibt, muß das Produkt der beiden periodischen Funktionen in eine Summe von Sinusfunktionen umgewandelt werden, deren jede nur mit einem konstanten Faktor multipliziert ist. Die Darstellung des Vorganges in einer Fourierschen Reihe, die nach der Resonanztheorie allein maßgebend dafür ist, welche Töne vorhanden sind, ergibt nun mit aller wünschenswerten Genauigkeit *Übereinstimmung zwischen dem, was man hört, und den Forderungen der Resonanztheorie*. Diesen Nachweis hat *F. A. Schulze*<sup>18)</sup> durch eine gründliche Diskussion sehr sorgfältiger und ausgedehnter Beobachtungsreihen *Karl L. Schäfers* und *O. Abrahams*<sup>19)</sup> erbracht.

Eine besonders einfache Methode, Variationstöne zu erzeugen, sei besonders erwähnt. Sie besteht darin, daß man zwischen die Tonquelle, z. B. eine tönende Stimmgabel, und das Ohr eine rotierende Scheibe bringt, in welche, kreisförmig angeordnet, in gleichen Abständen voneinander Löcher eingestanz sind. In dem so entstehenden Klange ist, wie die Rechnung zeigt, auch ein Ton von der Höhe des ursprünglichen enthalten. In dem Spezialfall, daß die Schwingungszahl  $p$  des ursprünglichen Tones ein ganzzahliges Vielfaches der Unterbrechungszahl  $u$  ist, befindet sich unter den möglicherweise auftretenden Tönen auch ein Ton von der Schwingungszahl  $u$ , den man als Unterbrechungs- oder Intermittenzton zu bezeichnen pflegt.

Die Variations- und Unterbrechungstöne sind

<sup>15)</sup> E. Waetzmann, Physik. Zeitschr. 12, 231, 1911.

<sup>16)</sup> Budde II, S. 183.

<sup>17)</sup> E. Budde, Verh. d. D. Phys. Ges. 18, 369, 1916.

<sup>18)</sup> F. A. Schulze, Ann. d. Phys. 26, 217, 1908.

<sup>19)</sup> Karl L. Schaefer u. O. Abraham, Ann. d. Phys. 13, 996, 1904.



vielfach in dem Sinne gedeutet worden, daß das Ohr imstande wäre, regelmäßige Amplitudenschwankungen als solche als Ton zu empfinden, dessen Höhe durch die Zahl der Schwankungen in der Sekunde gegeben ist. Eine derartige Fähigkeit des Ohres würde mit den Annahmen der Resonanztheorie unvereinbar sein. Wie gezeigt, ist es aber für das Verständnis der in Frage stehenden Tatsachen durchaus unnötig, eine derartige Annahme zu machen; sie ordnen sich vielmehr der Resonanztheorie aufs beste unter. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den sogenannten Phasenwechseltönen<sup>20)</sup>.

9. *Kombinationstöne*. Sie haben in der Geschichte der Resonanztheorie eine ganz besondere Rolle gespielt, indem sie schon von dem berühmten Akustiker R. König gegen Helmholtz ins Feld geführt wurden und auch später immer wieder als unvereinbar mit der Resonanztheorie hingestellt wurden.

Die Grundtatsachen sind folgende: Werden gleichzeitig zwei Primärtöne (Schwingungszahlen  $p$  und  $q$ ) von geeignetem Intervall und Intensitätsverhältnis angegeben, so hört man neben diesen Primärtönen (P.T.) noch weitere Töne, den Differenzton (D.T.) erster Ordnung  $p - q$ , den Summationston (S.T.) erster Ordnung  $p + q$  und D.T. und S.T. höherer Ordnung  $2q \mp p$ , . . . ). Zusammenfassend bezeichnet sie Helmholtz als Kombinationstöne (K.T.). Übrigens ist schon der S.T. erster Ordnung derartig schwach, daß noch heute vielfach an der selbständigen Existenz der S.T. gezweifelt wird.

R. König suchte nach dem Vorgang von Lagrange und Young die D.T. aus den Schwebungen (Stößen) heraus zu erklären. Er nimmt an, daß Stöße von hinreichender Frequenz vom Ohre zu einem „Stoßton“ zusammengefaßt werden, gibt also die Grundvoraussetzung der Resonanztheorie auf. Die Beobachtung lehrt nun, daß kräftige K.T. nur bei verhältnismäßig kleinen Intervallen der P.T. entstehen und das gleiche gilt für kräftige Schwebungen. Die Intensitätsunterschiede der K.T. bei kleinen und großen Intervallen sind so stark, daß z. B. Stumpf<sup>21)</sup> über die Intervalle jenseits der Oktave sagt: „Zunächst wird selbst der Geübte überhaupt nichts von K.T. beobachten. Und hat man dann einen schwachen Ton gefunden, so erweist sich meistens, daß Obertöne schuld waren oder schuld sein konnten, die mit einem P.T. ein Intervall dieses der Oktave bilden.“ Dabei ist  $p - q$  bei kleinen Intervallen und unter sonst günstigen Bedingungen außerordentlich laut, so daß er die P.T. zuweilen fast überdeckt. Mit diesen Beobachtungstatsachen steht also die Königsche Theorie in bestem Einklang. Dagegen enthält sie eben einen unlösbaren Widerspruch gegen die Resonanztheorie durch die Art, wie sie den

zweifelloso vorhandenen inneren Zusammenhang zwischen der Form der aus  $p$  und  $q$  bei ungestörter Superposition resultierenden Schwebungskurve und den D.T. herstellen will. Von „ungestörter Superposition“ zweier Töne sprechen wir, solange sich in den Schwingungen eines von beiden Tönen gemeinsam erregten schwingungsfähigen Körpers die Elongationen, welche jeder Ton für sich hervorrufen würde, rein additiv zusammensetzen.

Bevor wir uns der Besprechung der Theorie zuwenden, welche die Vereinbarkeit der K.T. mit der Resonanztheorie erweist, müssen wir noch einen sehr wichtigen Punkt erwähnen, welcher in erster Linie zu der Königschen Auffassung geführt hat: In den meisten Fällen werden die K.T. durch ans Ohr gehaltene Luftresonatoren nicht verstärkt, sind somit im Luft- raume als pendelförmige Schwingungskomponenten noch nicht vorhanden, sondern entstehen erst im Ohre des Beobachters. Man hat sie deshalb als „subjektive“ Töne bezeichnet im Gegensatz zu den gewöhnlichen „objektiven“ Tönen. Wir wollen sie lieber „physiologisch-objektiv“ nennen im Gegensatz zu den „physikalisch-objektiven“ Tönen, um von vornherein dem Mißverständnis vorzubeugen, als ließe sich für die Entstehung der „subjektiven“ Töne keine exakte Begründung geben. Die Bezeichnung „subjektiv“ wäre nur dann am Platze, wenn wir — wie es bei König geschieht — auf einen sonst unbekannten Empfindungsvorgang zurückgreifen müßten.

Helmholtz sieht nun den Grund für die Entstehung der K.T. darin, daß ein von den beiden P.T. erregter Körper für sich nicht dem gewöhnlichen linearen Kraftgesetz (Kraft, welche den Körper in die Ruhelage zurücktreibt, proportional der Elongation  $x$ , also  $= ax$ ) gehorcht, sondern einem quadratischen, und zwar unsymmetrischen Kräftegesetz (Kraft  $= ax + bx^2$ ). Eine Annäherungsrechnung zeigt dann, daß in der resultierenden Schwingung neben den Tönen  $p$  und  $q$  (erste Annäherung) noch pendelförmige Schwingungskomponenten  $p - q$ ,  $p + q$ ,  $2p$ ,  $2q$  (zweite Annäherung) usw. auftreten. Dieser äußerst geistvolle Gedanke des Näherungsverfahrens, der die linearen Schwingungsgleichungen nur als erste grobe Annäherung für die Darstellung der tatsächlichen Vorgänge gelten läßt, ordnet die K.T. ohne weiteres der Resonanztheorie unter. Man darf erwarten, daß er noch auf vielen anderen Gebieten der Physik sich fruchtbar erweisen wird. Wegen der umfassenden Wichtigkeit dieser Näherungslösungen sei erwähnt, daß die Budde'sche Argumentation, nach welcher das Helmholtz'sche Näherungsverfahren unhaltbar sein soll<sup>22)</sup>, ihrerseits nicht aufrechtzuerhalten ist<sup>23)</sup>. Um das Zustandekommen der nur physiologisch-objektiven K.T. verständlich zu machen, muß an-

<sup>20)</sup> F. A. Schulze, Ann. d. Phys. 45, 283, 1914.

<sup>21)</sup> C. Stumpf, Zeitschr. f. Psychol. 55, 133, 1910.

<sup>22)</sup> E. Budde, Verh. d. D. Phys. Ges. 21, 70, 1919, und in abgemilderter Form: Budde II, S. 108 ff.

<sup>23)</sup> E. Waetzmann, Verh. d. D. Phys. Ges. 21, 506, 1919.

genommen werden, daß irgendwelche schwingenden Teile im Ohre dem komplizierteren Kraftgesetz ( $ax + bx^2$ ) folgen. *Helmholtz* hielt das Trommelfell vermöge seines unsymmetrischen Baues für besonders geeignet hierfür, ließ aber ausdrücklich die Möglichkeit offen, daß auch noch andere Teile des Ohres zur Entstehung der K. T. beitragen. In der Tat dürfte das sicher der Fall sein.

Es darf aber nicht verschwiegen werden, daß auch die *Helmholtz*sche Theorie das Problem der K. T. noch nicht restlos gelöst hat. Sonst wäre es auch nicht zu verstehen, daß ein so ausgezeichnete Akustiker, wie es *R. König* war, sich von der Unhaltbarkeit seiner Theorie nicht hat überzeugen lassen, und daß noch in neuerer Zeit ausgezeichnete Gelehrte sich die *Königsche* Theorie zu eigen machten, obwohl sie damit die Resonanztheorie mit allen ihren Folgerungen aufgeben mußten. Die *Helmholtz*schen Gegen Gründe waren eben nicht zwingend, wie Verf. in dem oben zitierten Buche gezeigt hat. Vor allem ist zu betonen, daß es zwei prinzipiell verschiedene Arten von K. T. gibt, die *Helmholtz* nicht genügend auseinander gehalten hat, wodurch einem seiner Hauptargumente gegen *König* jede Beweiskraft genommen wurde. Als K. T. erster Art wollen wir diejenigen bezeichnen, bei denen die P. T. einen gemeinsamen Entstehungsort haben, wie z. B. in der Doppelsirene. Diese K. T. werden durch Resonatoren verstärkt, unterscheiden sich also in nichts von den gewöhnlichen Tönen und bieten deshalb für eine Hörtheorie kein besonderes Interesse. Sie könnten im wesentlichen auch zur Klasse der Variationstöne gezählt werden. Die zweite Art von K. T. ist die, bei denen die Erregungsstellen der P. T. zunächst völlig getrennt sind und die unter den gewöhnlichen Bedingungen durch Resonatoren nicht verstärkt werden, also erst im Ohre des Beobachters entstehen. Übrigens ist von *Budde*<sup>24)</sup> für die K. T. erster Art die Bezeichnung „Kopplungstöne“ vorgeschlagen worden, die mir aber nicht besonders glücklich zu sein scheint. Auch handelt es sich tatsächlich um weiter nichts als um einen neuen Namen, wie auch *Budde*<sup>25)</sup> selbst gelegentlich sagt: „Bereits *Waetzmann* (Ann. d. Phys. 24, 68, 1907) hat zwischen „K. T. erster und zweiter Art“ deutlich unterschieden. Seine K. T. erster Art sind unsere Kopplungstöne.“

Wenn die K. T. zweiter Art auf Grund physikalischer Eigenschaften des Trommelfells in diesem entstehen sollen, so mußte es möglich sein, unabhängig vom Ohre Membranen von solchen Eigenschaften herzustellen, daß sie bei Erregung durch zwei passende P. T. objektive K. T. ergeben. Solange das nicht gelungen war, mußte ein gewisses Mißtrauen gegen die *Helmholtz*sche Theorie bestehen bleiben. Auch

*Budde*<sup>26)</sup> hat noch neuerdings betont: „Weitere<sup>27)</sup> Versuche über die Schwingungen elastischer, künstlich asymmetrisch gemachter Membranen außerhalb des Ohres fehlen noch und wären sehr erwünscht.“ Freilich lagen damals die gewünschten Versuche schon vor. Verf. hatte gemeinsam mit *W. Moser*<sup>28)</sup> gezeigt, daß durch einseitige Belastung von Gummihäuten und dgl. bei passender Anordnung derselben unsymmetrische Schwingungen zustande kommen (und zwar nicht etwa nur lineare Unsymmetrie, wie es auf den ersten Blick scheinen könnte!), und daß sich in der Schwingungsform derartiger Membranen tatsächlich K. T. von verblüffender Stärke nachweisen lassen. In einer neueren Arbeit<sup>29)</sup> sind diese Versuche noch fortgesetzt worden. Hierbei hat sich auch eine gewisse Modifikation der *Helmholtz*schen Vorstellungen als notwendig herausgestellt. Da wir es in dem vorliegenden Artikel aber mit der Resonanztheorie des Hörens und nur nebenher mit der Theorie der K. T. zu tun haben, brauchen wir auf weitere Einzelheiten nicht einzugehen, nachdem die Hauptsache bewiesen ist, daß die K. T. nicht im Widerspruch zur Resonanztheorie stehen, sondern sich ihr gut unterordnen.

10. Hörstörungen. Zum Schluß sei noch kurz darauf hingewiesen, daß auch der Versuch gemacht worden ist, gewisse krankhafte Veränderungen des Gehörs auf Grund der Resonanztheorie zu deuten. Eine der hierher gehörenden Erscheinungen ist die, daß einzelne Töne oder die Töne eines ganzen Abschnittes aus der Tonkala zu hoch oder zu tief gehört werden. Nach *Jacobson* soll diese Erscheinung auf pathologische Prozesse im Labyrinth zurückzuführen sein. Sie könnte dann durch folgende Vorstellung einigermaßen verständlich werden: Die Eigentöne einer bestimmten Gruppe der Ohrresonatoren (bestimmte Zone der Basilmembran) werden durch irgendwelche pathologische Vorgänge gegenüber den Werten, die ihnen normalerweise zukommen, verändert, z. B. um eine kleine Terz vertieft. Zur Empfindung kommt aber trotzdem ihr normaler Eigentön, wenn wir spezifische Energien im *Helmholtz*schen Sinne annehmen. Die Töne, die mit den „pathologischen Eigentönen“ zusammenfallen, müssen demnach um eine kleine Terz zu hoch gehört werden. Manche Forscher sehen auch in dem Vorkommen von Tonlücken u. dgl. eine Bestätigung der Resonanztheorie, indem diese begrenzten Defekte getrennte Entstehungsorte für die verschiedenen hohen Töne direkt zu fordern scheinen. Wir wollen allen diesen Versuchen aber noch keine zu große Bedeutung für die Beurteilung der Resonanztheorie beilegen.

<sup>24)</sup> *Budde II*, S. 101.

<sup>27)</sup> Es ist vorher die Rede von Versuchen des Verfassers an belasteten Glycerinseifenlamellen. *E. Waetzmann*, Ann. d. Phys. 20, 837, 1906.

<sup>28)</sup> *E. Waetzmann* u. *W. Moser*, Verh. d. D. Phys. Ges. 19, 13, 1917.

<sup>29)</sup> *E. Waetzmann*, Ann. d. Phys. 62, 371, 1920.

<sup>24)</sup> *E. Budde*, Verh. d. D. Phys. Ges. 21, 70, 1919, und *Budde II*, S. 79.

<sup>25)</sup> *Budde II*, S. 81.



Auf der anderen Seite sei aber betont, daß trotz mancher zweifellos vorhandenen Schwierigkeiten wirklich schlagende Bedenken gegen die Resonanztheorie zurzeit nicht bestehen, und daß diese Theorie in positiver Beziehung vorzügliche Leistungen aufzuweisen hat.

## Physiologische Mitteilungen.

**Über das Lichtunterscheidungsvermögen des Hundes.** (Calvin P. Stone, Journ. of. comp. psychol. Bd. 1, Nr. 5, S. 413—431; 1921.) Um die Unterschiedsempfindlichkeit der Hunde für Helligkeiten festzustellen, wurde folgende Anordnung getroffen: Der Hund kommt in eine Art Gehschule, einen viereckigen, von geschwärzten Brettern umgebenen Raum, in welchem durch eine Querwand ein Vorraum vom eigentlichen Versuchsraum abgegrenzt ist. Wenn der Hund, der sich zunächst im Vorraum befindet, durch die in der Querwand angebrachte Tür den Versuchsraum betritt, erblickt er an der gegenüberliegenden Wand 2 nebeneinander befindliche Glasfenster, die von der Rückseite her mit Licht von bestimmter Intensität beleuchtet sind. Er hat die Aufgabe, sich nach der Seite des dunkleren Fensters zu wenden und dann den Wänden entlang durch einen besonderen, abgegrenzten Gang zum Vorraum zurückzukehren. Die Dressur auf diese Aufgabe wurde (zunächst bei starkem Helligkeitsunterschied der beiden Fenster) dadurch erreicht, daß der Hund jedesmal, wenn er sich zum helleren (also zum falschen) Fenster wandte, einen leichten elektrischen Schlag erhielt, der ihm vom Boden des Raumes — aus einem Rost von Kupferdrähten bestehend — erteilt wurde. Die Dressur wurde als genügend erachtet, wenn der Hund 30mal nacheinander die Aufgabe ohne Fehler löste. Bei den Versuchen wurde ein Fenster mit einem Standardlicht (Helligkeit 1 HK.), das andere mit einem helleren Licht von variabler Intensität beleuchtet. Zunächst wurde auch hier die Helligkeitsdifferenz ziemlich groß gewählt und dann allmählich immer mehr vermindert, bis der Hund, trotz guter Dressur, die Unterscheidung nicht mehr traf. Die Versuche wurden an zwei jungen Foxterriern, einem männlichen und einem weiblichen, und zum Vergleich an drei Menschen ausgeführt. Das Ergebnis war: Bei einer Helligkeit des Standardlichtes von 1 HK. und einer etwas größeren Helligkeit des variablen Vergleichslichtes war der geringste Helligkeitsunterschied, bei dem eine Serie von 30 fehlerlosen Unterscheidungen getroffen wurde:

|                                | HK.  | Verhältnis des<br>Standardlichtes<br>zum variablen<br>Licht |
|--------------------------------|------|---|
| Weiblicher Hund . . . . .      | 0,14 | 8,7 : 10  |
| Männlicher Hund . . . . .      | 0,2  | 8,3 : 10  |
| Versuchsperson H und W . . . . | 0,11 | 9,0 : 10  |
| Versuchsperson S . . . . .     | 0,09 | 9,17 : 10   |

Der geringste Helligkeitsunterschied, bei dem ein deutliches positives Resultat, aber keine längere fehlerlose Serie erzielt wurde, war:

|                                | HK.  | Irrtümer<br>in % | Zahl der<br>Versuche |
|--------------------------------|------|------------------|----------------------|
| Weiblicher Hund . . . . .      | 0,12 | 26,5             | 75                   |
| Männlicher Hund . . . . .      | 0,10 | 27,7             | 90                   |
| Versuchsperson H und W . . . . | 0,06 | 20,0             | 45                   |
| Versuchsperson S . . . . .     | 0,04 | 17,7             | 45                   |

K. v. Frisch, Rostock.

**Reiz und Reizbarkeit. Ihre Bedeutung für die praktische Medizin.** (August Bier, Münch. med. Wochenschr. Jahrg. 68, Nr. 46, S. 1437—1476 u. Nr. 47, S. 1521 bis 1524, 1921.) Während A. v. Haller Reizbarkeit (Contractilität) und Empfindlichkeit unterschied und damit Verwirrung schuf, erkannte der geniale J. Brown die ungeheure Bedeutung der Reize und ihrer Wirkungen: Das Leben beruht auf Erregung durch Reize. Die Erregung wird weiter geleitet. Erregbarkeit kommt dem ganzen Körper zu. Dieselben Reize können je nach ihrer Stärke Leben, Krankheit oder Tod bedingen, Physiologie und Pathologie sind darin nur dem Grade nach verschieden, dem Wesen nach eins. Überreizung führt zu Ermüdung, Lähmung, Tod. Die „Lebenskraft“ wird entthront, an ihre Stelle tritt „Erregbarkeit“. Auf diesen richtigen Gedankengängen baute Brown leider ein tolles System der Krankheiten und ihrer Behandlung auf, das seinem Ruhm heute Abbruch tut. — Erst der große Virchow schuf hier neue Grundlagen und klare Begriffe, allerdings von Brown beeinflusst. Er ist eigentlicher Schöpfer der Reizlehre: Erregbarkeit ist Kriterium jeder lebenden Zelle, sie bedeutet Reaktion der Zelle auf Reize. Reize sind alle Zustandsänderungen, die auf die Zelle wirken; die Zellreaktion ist positive Leistung des Lebendigen. Reizleitung erfolgt auch durch Blutstrom und die Nachbarzellen. Virchow unterscheidet je nach der durch den Reiz besonders angeregten Verrichtung „funktionelle“, „nutritive“ und „formative“ Reize, obwohl alle drei Verrichtungen durch ein und denselben Reiz erregt werden können. — Wenn man auch letzten Endes alle Reize als „funktionell“ auffassen kann, da es sich ja stets um „Tätigkeit“ handelt, hält Bier aus praktischen Gründen zur Kennzeichnung der überwiegen den Wirkungsrichtung eines Reizes an Virchows Einteilung fest. Heute wird der funktionelle Reiz überschätzt, die anderen unterschätzt oder ganz gelehnet, obwohl sie u. U. viel mächtiger wirksam sein können. Der Nichtgebrauch allein vernichtet nicht die Organe, es müssen toxische Wirkungen hinzukommen (Beispiele). Für die hohe Wirksamkeit des formativen Reizes sprechen folgende Tatsachen: die ungeschlechtliche „Befruchtung“ durch mechanischen Reiz, Einflüsse des sich entwickelnden Eies auf die Mutter, Callusbildung durch Entzündungsreiz, Hormonwirkungen, Erzeugung bösartiger Geschwülste durch Reiz (Virchow), Regeneration durch formative Reize zu vollwertigem Gewebe (nicht Narbe); wie sie Bier an Knochen, Bändern, Sehnen und Zwischengewebe erzielt hat, ja sogar an Schleimbeuteln und Gelenken trotz Fixierung der Glieder, und die er auf formbildende Wirkung örtlicher Hormone zurückführt. Funktion (Bewegung) fördert die Regeneration, vielleicht indem der funktionelle Reiz erst den formativen erzeugt. Wie Virchow vertritt B. die Anschauung, daß die Zelle sich selbst ernährt, daß somit die die Nahrungsaufnahme anregenden nutritiven Reize große Bedeutung haben. Dafür folgende Gründe: Befruchtung regt Ei zur Nahrungsaufnahme an, Hypertrophie des Uterus durch Hormonreize, Unwirksamkeit direkter elektrischer Reize zur Aufhaltung der Atrophie des gelähmten Muskels, dauernder Gebrauch verhindert durch Verletzung oder Entzündung bedingte Atrophie in Muskel und Knochen nicht (Beispiel). Der trophische Reiz des Nervensystems ist kein leerer Wahn; es gibt viel stärkere rückbildende Reize als Mangel an Funktion. Weitere Belege für den nutritiven Reiz: Wachstumsreiz setzt sich selbst bei schlechter

Ernährung durch, Wachstum des Geschlechtsapparats des Lachses auf Kosten der Muskulatur, Fälle von Hypertrophie untätiger glatter Muskeln, Hypertrophie der Uteruswand bei Extrauterin gravidität. Große praktische Bedeutung hat der nutritive Reiz gewonnen durch Biers Erfolge in der Anregung der Nahrungsaufnahme des Zellgewebes durch Einspritzung von Proteinkörpern, besonders von Tierblut. Auch Luft und Licht reizen nutritiv. — Die normalen Reize für den Menschen sind äußere: Luft, Licht, Wasser, Temperatur, Tätigkeit; innere: Stoffwechselprodukte, deren besondere Bedeutung ausführlicher besprochen wird, Hormone und seelische Einflüsse. Für sie gilt wie für jeden Reiz das Arndt-Schulz'sche Gesetz: Schwache Reize fachen die Lebenstätigkeit an, mittelstarke fördern, starke hemmen, sehr starke heben sie auf. Dabei ist Stärke des Reizes durchaus relativ zu individueller Anlage und Zustand des Betroffenen zu setzen. Die Reaktionen des Körpers auf diese Reize sind stets zweckmäßig und „normal“. Krankmachend wirkt der Reiz durch zu große Intensität oder Dauer. Dann reagiert der Körper mit Fieber und Entzündung. Die Entzündungsreaktion ist aufs höchste gesteigerte Zell-tätigkeit (funktionelle, daneben aber auch nutritive und formative Erregung), durch Reizleitung ausbreitet. Schmerz und Funktionsstörung gehören zur Schädlichkeit, sie werden durch gesteigerte Leistung noch nicht gelähmter Teile des Entzündungsherdes gemildert und beseitigt. Der Entzündungsreiz trifft in erster Linie das Gefäßsystem, aber auch jedes andere Gewebe. Analog ist das Fieber mächtig vermehrte Tätigkeit des Körpers. Praktische Bedeutung dieser Erkenntnis für Behandlung: Unterstützung der Entzündung durch Zufuhr von Blut (Hyperämie) und Verstärkung des Reizes (Proteinkörperbehandlung, Akutmachen chronischer Krankheiten, auch Steigerung akuter Prozesse, aber nur kleine und kleinste Reizdosen, weil Entzündungsherd überempfindlich!). Durch diese Reizlehre wird segensreiche Vereinfachung der unübersehbaren „spezifischen“ und „symptomatischen“ Behandlungsmethoden ermöglicht. Die Behandlung ist aber nicht leicht. Die genaue Dosierung und individuelle Abstufung der Reize nach Maßgabe des Arndt-Schulz'schen Gesetzes erfordert hohe Kunst des Arztes. Thörner, Bonn.

Zentralblatt für die gesamte  
Ophthalmologie Band VII.

## Astronomische Mitteilungen.

**Die Entfernung der kugelförmigen Sternhaufen.** In den Untersuchungen *Shapleys* (siehe *Kopff*, *Natw.* 1921, 769) über die Entfernung der kugelförmigen Sternhaufen spielen die  $\delta$ -Cephei-Veränderlichen eine große Rolle. Die abgeleiteten Parallaxen stützen sich auf die Gültigkeit der von *MiB Leavitt* für die kleine Magellanwolke gefundenen Beziehung zwischen Periode und Helligkeit der  $\delta$ -Cephei-Veränderlichen für das ganze Fixsternsystem und für die verschiedenen Sternhaufen. Auf einem ganz anderen Wege versuchte *Schouten* die Parallaxen der Kugelhaufen abzuschätzen: er setzte die für das Sternsystem im ganzen gefundene Verteilungsfunktion der absoluten Leuchtkräfte auch als innerhalb der Haufen gültig voraus. Zwischen beiden Resultaten besteht ein großer Widerspruch: *Schoutens* Parallaxen sind im Mittel 7- bis 8mal größer

als die *Shapleys*, so daß *Schouten* zu einer wesentlich intergalaktischen Stellung der Sternhaufen kommt, während *Shapley* bekanntlich bereits die uns nächsten Haufen an die Grenze des engeren Milchstraßensystems versetzt. Mit der Diskussion dieses Widerspruches befaßt sich eine Arbeit von *Kapteyn* und *van Rhijn*: *The proper motions of  $\delta$ -Cephei stars and the distances of the globular clusters* (Bulletin of the astronomical institutes of the Netherlands Nr. 8). Man muß zwei in vielen Punkten voneinander abweichende Gruppen von  $\delta$ -Cephei-Sternen unterscheiden: eine solche mit Perioden unter einem Tag — mit einem deutlichen Maximum zwischen 0,4 und 0,8 Tagen — und eine solche mit Perioden über einem Tag. Zu den ersteren zählen die typischen „cluster variables“, während die letzteren den wesentlichen Bestand an Veränderlichen in der kleinen Magellanwolke ausmachen und nur ein paar von ihnen in den beiden Haufen  $\omega$  Centauri und Messier 5 vorkommen. Die kurzperiodischen Cepheiden sind, soweit sie außerhalb von Sternhaufen auftreten, gleichmäßig über den Himmel verteilt, die langperiodischen sind fast ausschließlich auf die Milchstraße beschränkt. Trotz dieser auffälligen Verschiedenheiten fußen *Shapleys* Parallaxenbestimmungen letztes Endes auf der Annahme, daß die wenigen Veränderlichen vom zweiten Typus in den beiden genannten Haufen — wobei von 8 noch einer ausgeschlossen werden muß, weil er ein „very divergent result“ ergibt — dieselben Eigenschaften hätten wie die typischen „cluster variables“. *Kapteyn* und *van Rhijn* versuchen, um von dieser Annahme unabhängig zu sein, die Parallaxen einer Reihe von Veränderlichen des ersten Typus aus deren Eigenbewegungen abzuleiten, welche als parallaktische Bewegungen gedeutet werden. Aus 9 Sternen, welche in den Zonen Potsdam und Algier der photographischen Himmelskarte vorkommen, finden sie als mittlere Parallaxe  $\bar{\pi} = 0''.0044 \pm 0.0015$  (w. F.) entgegen *Shapleys* Wert  $\bar{\pi} = 0''.00068$ . Von 5 anderen Sternen liegen Meridiankreisbeobachtungen vor. Für sie ergibt sich  $\bar{\pi} = 0''.0138 \pm 0.0030$  gegenüber *Shapleys* Wert  $\bar{\pi} = 0''.0016$ . Das Resultat läßt sich in der Form darstellen:

$\bar{\pi}_{Kapteyn} = 0''.0065 \pm 0''.0014 = (7.6 \pm 1.6) \times \bar{\pi}_{Shapley}$   
d. h. die gefundenen Parallaxen sind beinahe 8mal so groß wie die *Shapleys*, und das gleiche gälte demnach für die Parallaxen der Sternhaufen, welche *Shapley* ja mit Hilfe dieser Sterne ermittelt hat. Damit wäre der anfangs hervorgehobene Widerspruch zugunsten *Schoutens* gelöst: die kugelförmigen Sternhaufen wären Gebilde, die durchaus innerhalb der Grenzen des Milchstraßensystems liegen.

Inzwischen kündigt aber *Shapley* in einer Notiz: *The absolute magnitude of cluster type variables*, Harvard Bulletin 765, an, daß in der kleinen Magellanwolke 13  $\delta$ -Cephei-Sterne vom ersten Typus aufgefunden worden seien und daß diese sich streng der von *MiB Leavitt* für die Sterne vom zweiten Typ aufgestellten „period-luminosity“-Kurve einfügen, m. a. W., daß die auf Grund der als zu vage kritisierten Hypothese früher abgeleiteten Entfernungen sich nun vollkommen bestätigen. Die Frage, ob die Entfernungsskala *Shapleys* nicht um ein Vielfaches zu verkleinern sei, muß daher immer noch als offen bezeichnet werden.

Kienle.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.  
Copyright 1922 by Julius Springer in Berlin.

Heft 25. (Seite 553—568.)

23. Juni 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie. Von *C. Pulfrich*, Jena. (Mit 8 Abbildungen.) S. 553.

Vorläufige Bemerkungen zu: Friedrich von Lucas' Die Rätsel des Vogelzuges. Von *Fritz Braun*, Danzig. S. 565.

### Besprechungen:

Grafe, A., Chemie der Pflanzenzelle. Von *E. G. Pringsheim*, Berlin-Dahlem. S. 568.

Wolterstorff, W., Die Molche Deutschlands und ihre Pflege. Von *H. L. Honigmann*, Magdeburg. S. 568.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Soeben erschien:

## Astronomische Miniaturen

Von

**Elis Strömgren**

Aus dem Schwedischen übersetzt von

**K. F. Bottlinger**

Mit 14 Abbildungen. (VIII, 88 S.)

Preis M. 36.—

### Inhaltsverzeichnis:

Die Stellung des Menschen im Weltall.  
Die Kometen, ihre Bahnen, Natur und Ursprung.  
Die Sonne:  
Ein Kalenderproblem.  
Grundbegriffe der modernen Stellarastronomie.  
Michelsons Methode zur Messung kleiner Winkelabstände am Himmel.  
Scylla und Charybdis.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 60.— für das zweite Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 6.—.

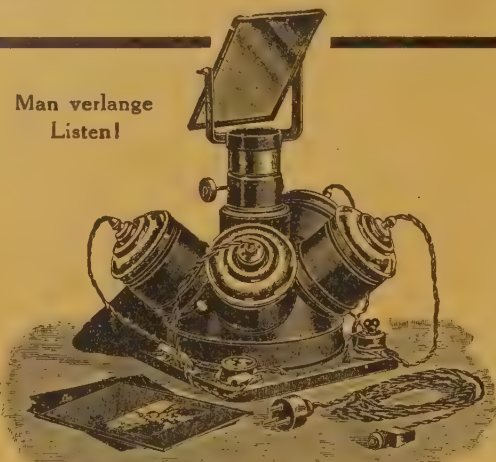
Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 9.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin. Depositen-Kasse C.  
Postcheck: für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 2020 Julius Springer,  
Konten: für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

Man verlange  
Listen!



### Projektions-Apparate Liesegang

Hochkerziges

## Globoscop

entwirft scharfe, helle Lichtbilder nach jedem Papierbild. An jede elektrische Lichtleitung anzuschließen.

Neue große Lichtbilder-Sammlung  
aus allen Gebieten  
für Lehr- und Vortragszwecke!

**Ed. Liesegang, Düsseldorf**  
Brieffach 124

### Die großen Handbücher



von Abderhalden, Abegg, Bredig, Dammer, Doelter, Gmelin-Krauth, Hertwig, Kolle-Wassermann, Lueger, Lunge, Muspratt, Richter, Rubner, Ullmann, Winkelmann u. a. **zur Erleichterung der Anschaffung** gegen bequeme Monats- oder Quartalsraten von (258)

**Hermann Meusser, Buchhandlung**  
Berlin W 57/9, Potsdamer Strasse 75

### Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu Kaufen gesucht. Angebote unter  
Nw. 236 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

# Der Flug der Tiere

Von

**Dr. F. Zschokke**

Professor der Zoologie an der Universität Basel

(IV, 110 S.)

1919. Preis M. 5.— (und Teuerungszuschlag)

Das Buch will einer mit biologischen Fragen sich beschäftigenden Leserschaft Aufschluß geben über das Vorkommen der fliegenden Lebensweise im Tierreich, über ihren Ursprung, ihre Erscheinung und ihren Erfolg, und besonders über die Bedeutung des Flugs für die Stellung des mit Flügeln ausgerüsteten Geschöpfes im Naturganzen.



## Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie<sup>1)</sup>.

Von C. Pulfrich, Jena.

Der Gegenstand, mit dem wir uns im folgenden zu beschäftigen haben, bedeutet eine neue Nutzenanwendung der messenden Stereoskopie, die ganz abseits liegt von allen bisherigen Anwendungen derselben, die aber ursächlich damit zusammenhängt, so daß es angebracht erscheint, zunächst einmal einen kurzen Rückblick auf die Arbeiten der letzten 25 Jahre zu werfen, während welcher Zeit sich die Entwicklung des Stereoskops zum stereoskopischen Meßinstrument vollzogen hat.

### Rückblick auf die Entwicklung des Stereoskops zum stereoskopischen Meßinstrument.

Bis gegen Ende des vorigen Jahrhunderts war das Stereoskop einschließlich aller Doppelfernrohre nichts mehr und nichts weniger als ein Schauapparat für das beidäugige Betrachten von Gegenständen und Stereoskopbildern, und das sind diese Apparate größtenteils auch jetzt noch. Aber noch vor Beendigung des vorigen Jahrhunderts setzten bereits die Bestrebungen ein, aus dem Stereoskop ein Meßinstrument zu machen, zur Ermittlung nicht nur der Entfernung der im Stereoskop geschauten Gegenstände, sondern auch zur Ausmessung dieser Gegenstände nach ihren körperlichen Dimensionen: Breite, Höhe und Tiefe. Den stereoskopischen Entfernungsmesser der Firma Carl Zeiss habe ich zuerst im Jahre 1899 auf der Naturforscherversammlung in München, und zwei Jahre später auf der Naturforscherversammlung in Hamburg den Stereokomparator vorgeführt. Der Entfernungsmesser ist ein Doppelfernrohr mit erweitertem Objektivabstand zur direkten Betrachtung der Natur, der Stereokomparator ein Stereo-Mikroskop zur Betrachtung von photographischen Platten, die an den Enden einer Standlinie aufgenommen sind, deren Länge sich jedesmal nach der Entfernung des zu messenden Gegenstandes und der verlangten Genauigkeit der Messung richtet. In beiden Fällen beruht das Meßverfahren auf der Anwendung von künstlichen Marken, die, in die Okulare des Betrachtungsapparates eingesetzt, den Eindruck hervorrufen, als wären die durch sie erzeugten Raumbilder der Marken ein Bestandteil des im Stereoskop geschauten Raumbildes, nur mit dem

Unterschied, daß man durch relative Bewegung der Markenhälbbilder zueinander und zu den optischen Teilen des Betrachtungsapparates diesen Bestandteil nach Belieben in dem Raumbild herumführen und die Gegenstände, die man ausmessen will, auf diese Weise an ihrer Oberfläche abtasten kann.

Die Hoffnungen, die damals in dieses Verfahren und die Betätigung der genannten Instrumente gesetzt worden sind, sind in überreichem Maße in Erfüllung gegangen. Von den in erster Linie für militärische Zwecke bestimmten stereoskopischen Entfernungsmessern hat Exzellenz Scheer in einem am 3. Juni vorigen Jahres in Jena gehaltenen öffentlichen Vortrage rühmend hervorgehoben, welche großen Dienste diese Instrumente seiner Flotte im Kampfe geleistet hätten. Mit den stereoskopischen Entfernungsmessern sei man imstande gewesen, nicht allein die Entfernung (16—18 km) der Maste, sondern auch den Ort des Mündungsfeuers und sogar den Ort der Rauchsäulen und Rauchwolken auf dem Meere zu bestimmen.

Für den Stereokomparator (Fig. 1) kommen andere Anwendungsgebiete in Frage. Die Hauptanwendungsgebiete sind *Astronomie* und *Topographie*. Auf den Sternwarten, die sich mit photographischen Himmelsaufnahmen beschäftigen, ist der Stereokomparator, sei es in Verbindung mit dem Stereomikroskop oder dem später hinzugefügten Blinkmikroskop, ein geradezu unentbehrliches Hilfsmittel der Forschung geworden. Alles im Sinne einer wesentlichen Verkürzung der Arbeitszeit und einer nicht unerheblichen Steigerung der Meßgenauigkeit. In der Topographie ist es nicht anders gewesen. Die alte, um die Mitte des vorigen Jahrhunderts begründete Photogrammetrie konnte nicht leben und nicht sterben. Von ihr hat einmal ein österreichischer Fachmann gesagt, daß über sie mehr Bücher geschrieben als Pläne mit ihr angefertigt seien. Mit der Stereo-Photogrammetrie war das gleich anders. Sie ist noch eine junge Wissenschaft. Als der Krieg ausbrach, war sie kaum mehr als 10 Jahre alt. Aber sie hat längst ihre Kinderschuhe ausgezogen und ihre Existenzberechtigung im Vermessungswesen und ihre hohe Leistungsfähigkeit durch zahlreiche Arbeiten für die Zwecke der Landesaufnahme und für Ingenieuraufgaben im Frieden und im Kriege bewiesen. Aufgaben wie die Vermessung der Meereswellen und die Ermittlung der Flugbahn eines Geschosses z. B. können überhaupt nur mit Hilfe der Stereo-Photogrammetrie gelöst werden.

<sup>1)</sup> Im Auszug vorgetragen auf dem Physikertag in Jena am 21. IX. 1921.

Zu dem Stereo-Komparator hat sich der *Stereo-Autograph* (Fig. 2) gesellt, im wesentlichen ein automatischer Schichtenlinienzeichner, durch den die Stereo-Photogrammetrie eine ganz gewaltige Steigerung ihrer Leistungsfähigkeit erfahren hat. Bei diesem Apparat sind die einzelnen Glieder der Gleichungen, welche die Brennweite der Aufnahmekammer, die Bildpunktkoordinaten der linken Platte und die horizontale Bilddifferenz der beiden Platten, die sogenannte Parallaxe, mit den zu messenden Raumkoordinaten des Punktes im Objektraum verbinden, durch starre Lineale verwirklicht, die ein automatisches Übertragen der im Stereokomparator eingestellten Punkte auf das Zeichen-

Zwecke der Landesaufnahme und für Ingenieuraufgaben — Eisenbahnbauvorarbeiten, Talsperranlagen, Kanalanlagen, Tagebaue und dergleichen — mit bestem Erfolg im Gebrauch. Die Verwertung der Apparate für die vorgenannten Aufgaben des Ingenieurfaches bleibt der mit *Luftbild G. m. b. H. München* verbundenen *Stereographik-Gesellschaft* und deren im Ausland tätigen Zweiggesellschaften vorbehalten.

Es ist ferner schon lange das Bestreben gewesen, die *Aufnahmen aus dem Flugzeug* für Vermessungszwecke dienstbar zu machen. Das Endziel dieser Bemühungen ist auch hier, daß man imstande ist, aus der Luft ebenso stereophotogrammetrisch und stereoautomatisch zu

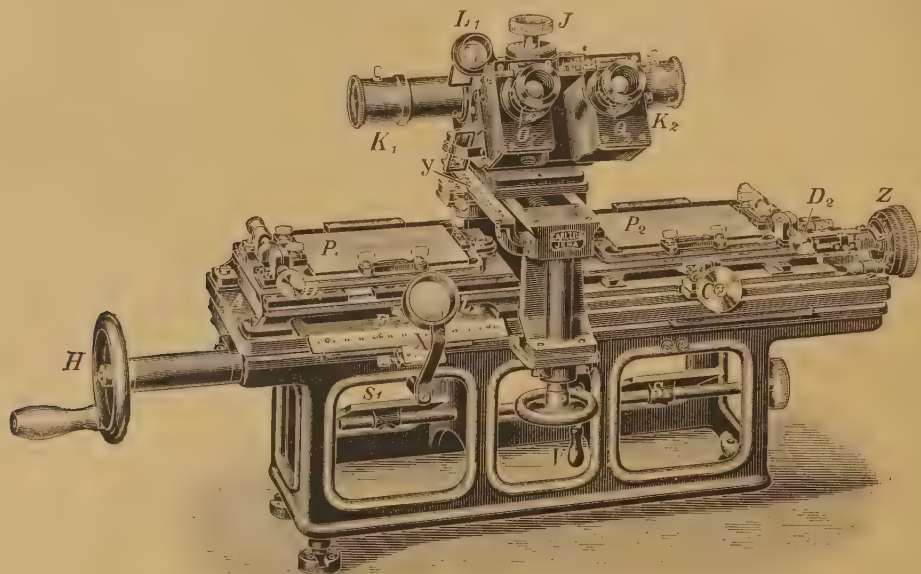


Fig. 1. Stereo-Komparator, Modell E, Plattenformat  $13 \times 18$ , für die punktweise topographische Gelände-Vermessung.

blatt ermöglichen. Das automatische Aufzeichnen einer Schichtlinie geschieht in der Weise, daß man das Höhenlineal auf eine bestimmte Höhe im Objektraum einstellt und dann durch Verschiebung des Plattenpaares zur Seite und durch Veränderung des Abstandes der beiden Platten voneinander die sogenannte „wandernde Marke“ im Stereo-Komparator so an dem *Raumbild der Landschaft entlangführt*, daß die Marke immer in Berührung mit der Oberfläche des Raumbildes verbleibt. Durch fortgesetzte Wiederholung dieses Vorgangs für Höhen mit einem beliebig gewählten konstanten Höhenunterschied entsteht dann der sogenannte Schichtlinienplan, der sich von den nach den bisherigen Methoden hergestellten Schichtenplänen vorteilhaft dadurch unterscheidet, daß, abgesehen von der schnelleren Herstellung, das Aufzeichnen jeder einzelnen Schichtlinie vollkommen unabhängig von den vorher gezeichneten erfolgt. Apparate dieser Art sind bereits in größerer Anzahl im In- und Auslande für die

arbeiten, wie das bisher mit dem Stereo-Komparator und dem Stereo-Autographen vom festen Erdboden aus möglich gewesen ist. Eine von mir gefundene grundsätzliche Lösung dieser Aufgabe habe ich bereits im Jahre 1919 in meiner Schrift „Über Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen“ angekündigt. Über die Entwicklung welche der diesen Zwecken dienende sogenannte *Stereo-Planigraph* durchgemacht hat, wird noch im Laufe dieses Jahres, sobald die ersten Instrumente dieser Art die Werkstätten der Firma *Carl Zeiss* verlassen, von anderer Seite ausführlich berichtet werden<sup>2)</sup>.

<sup>2)</sup> Herr Prof. *Hugershoff-Heyde*, der damals noch ganz in der Vorstellung befangen war, daß sich das Problem der Erdvermessung aus der Luft nur durch *monokulare* Ausmessung der Bilder lösen lasse, hat inzwischen die Belehrung, die ich ihm in meiner oben erwähnten Schrift sowohl für den Bau der Aufnahmekammer als auch für den Bau eines Autographen habe zuteil werden lassen, anscheinend in allen Punkten befolgt, denn er hat sich seitdem von der monokularen Meßmethode losgesagt und baut seinen Automaten jetzt



Ich muß es mir versagen, auf diese Dinge und auf die mannigfaltigen sonstigen Anwendungen des stereoskopischen Meßverfahrens näher einzugehen. Ich verlasse damit ein Arbeitsgebiet, dem ich einen großen Teil meiner Lebensarbeit gewidmet habe und wende mich nunmehr der in der Überschrift dieses Aufsatzes bezeichneten Aufgabe zu, die darauf hinausläuft, das stereoskopische Meßverfahren in den Dienst der *Photometrie* zu stellen. Wir werden sehen, daß zwischen der Stereoskopie und der Photometrie ein sehr inniger, bisher allerdings völlig un-

den. Hier wie auch sonst ist es mit solchen Störungen ein eigen Ding. Man muß ihnen, so unangenehm sie auch im Augenblick empfunden werden, dankbar sein. Denn, wenn man ihnen nachgeht, sie gleichsam in Reinkultur züchtet, so erweisen sie sich in der Regel, wie im vorliegenden Falle, als Wegweiser zu einem neuen Arbeitsgebiet bzw. zu einer neuen Arbeitsmethode.

Ich habe diese Störungen niemals selbst beobachten können, denn ich bin seit 16 Jahren auf dem linken Auge infolge einer in der Jugend erlittenen blutigen Verletzung des Auges

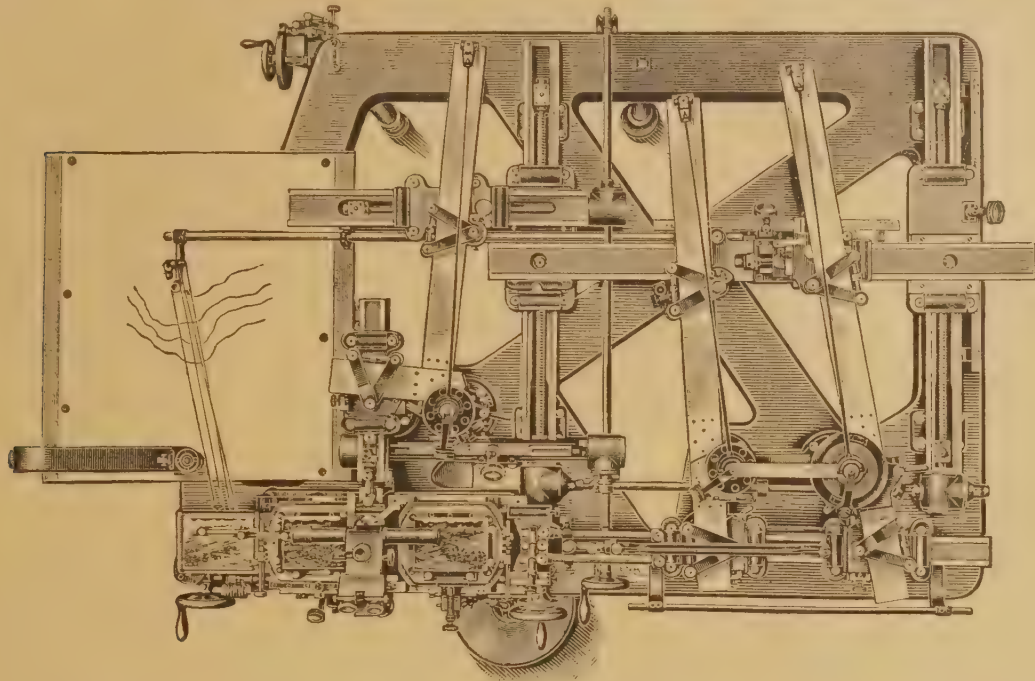


Fig. 2. Stereo-Autograph, Modell 1914, für die automatische Herstellung von topographischen Plänen mit Schichtlinien.

beachtet gebliebener Zusammenhang besteht, der die Beachtung nicht nur des *Physikers*, sondern auch des *Physiologen* und selbst des *Psychologen* verdient und, besonders für die Zwecke der *heterochromen Photometrie* von der allergrößten praktischen Bedeutung ist.

## I. Teil.

### Die Grundlagen der neuen Methode.

#### 1. Ein gelegentlich beobachteter Stereo-Effekt als Wegweiser in das neue Arbeitsgebiet.

Die Erscheinungen, um die es sich hier handelt, sind zuerst am Stereo-Komparator und am Stereo-Autographen als gelegentlich auftretende *Störungen* in der Einstellung der Meßmarke zu dem auszumessenden Raumbild beobachtet worden.

nur noch für die stereoskopische Betrachtung. Ob dieser „Autokartograph“ dem oben erwähnten Stereoplanigraphen in bezug auf Leistungsfähigkeit und allgemeine Anwendbarkeit die Wagschale halten wird, erscheint mir mehr als zweifelhaft.

blind. Ich habe von diesen Störungen erst gehört, als Herr Prof. Max Wolf vom Königsstuhl in Heidelberg im Jahre 1920 eine Arbeit über 1053 mit dem Stereo-Komparator gemessene Sterne mit Eigenbewegung veröffentlichte<sup>3)</sup>. In dieser Arbeit erwähnt Herr Wolf einen merkwürdigen Stereo-Effekt, der ihm bei der Durchmusterung der Plattenpaare zuweilen störend entgegengetreten ist und der darin bestand, daß ein Stern, dessen Raumbild er vorher in die gleiche scheinbare Entfernung mit dem Raumbild der Meßmarke gebracht hatte, bei schneller Bewegung des Plattenpaares deutlich hinter oder vor die Marke trat.

Wie ich später erfahren habe, sind ähnliche Erscheinungen schon in früheren Jahren von verschiedenen Beobachtern, die beruflich am Stereo-Autographen gearbeitet haben, so z. B. von den Herren v. Orel, E. Wolf, Lemberger, Tiller,

<sup>3)</sup> Veröffentlichungen der Badischen Sternwarte zu Heidelberg, Bd. 7, Nr. 10, S. 29.

v. Gruber u. a., beobachtet worden. War in solchen, auch nur vereinzelt vorkommenden Fällen die Marke vorher in aller Ruhe auf einen bestimmten Punkt der Landschaft eingestellt, so machte die Marke beim schnellen Hin- und Herbewegen des Plattenpaares eine Art *kreisende Bewegung* um den Objektpunkt herum. Man hat sich dabei immer mit der Annahme beruhigt, es seien zufällig die Verbände zwischen den beiden Platten etwas locker geworden.

Zur Zeit als Herr Max Wolf seine oben erwähnte Arbeit veröffentlichte, haben die am Stereo-Autographen mit der Ausarbeitung der Pläne für die Saaltalsperre beschäftigten Beamten der Firma Carl Zeiss, Herr Ingenieur Franke und Herr Studienassessor Fertsch, sich die Erforschung dieser auch von ihnen beobachteten Störungen angelegen sein lassen. Die beiden Herren wurden zuerst auf diese Störungen aufmerksam durch die Beobachtung, daß dieselbe Schichtlinie, wenn sie einmal in der einen und dann in der entgegengesetzten Richtung gezogen wurde, an verschiedenen Stellen lag, so daß man nicht wußte, welche der beiden Linien die richtige war. Der Lagenunterschied wuchs hierbei mit der Geschwindigkeit der Bewegung des Plattenpaares. Natürlich war das nicht immer so. In den meisten Fällen fielen die beiden Linien selbst bei schnellster Bewegung des Plattenpaares in eine zusammen, und es galt dies mit Recht als Prüfstein und Beweis für die hohe Präzision und Leistungsfähigkeit des Autographen.

Als Ergebnis ihrer Untersuchung haben die beiden vorgenannten Herren festgestellt, daß zur *Erklärung der Störungen* in keiner Weise eine Abstandsänderung der beiden Platten während der Verschiebung verantwortlich gemacht werden darf, sondern daß *hierfür einzig und allein der Unterschied der Helligkeiten links und rechts maßgebend ist*. So konnten Platten, welche die Erscheinung nicht zeigten, sofort durch eine ungleiche Beleuchtung der beiden Platten dahin gebracht werden, und ebenso war man bei Platten, die die Störung zu erkennen gaben, imstande, sie durch einen entsprechenden Ausgleich der Beleuchtung zum Verschwinden zu bringen.

Jetzt erklärt es sich auch, weshalb die Störung nur in Ausnahmefällen beobachtet wurde. Wie der Helligkeitsunterschied in jedem einzelnen Falle zustande gekommen, läßt sich natürlich jetzt nicht mehr sagen. Es können die Lampen ungleich hell gewesen sein, oder sie hingen nicht gleichmäßig vor den Objektöffnungen des Stereo-Mikroskops, oder der Okularabstand war nicht vollkommen dem Augenabstand des Beobachters angepaßt, so daß eine teilweise Abblendung einer der beiden Austrittspupillen des Stereomikroskops durch das Auge des Beobachters eintrat, oder endlich die Platten waren an sich verschieden durchsichtig, so z. B. dann, wenn bei stereophotogrammetrischen Auf-

nahmen auf dem einen der beiden Bilder der Schatten einer Wolke lag. Auch kann die Störung durch von oben auf eine der Platten auffallendes Sonnen- oder Tageslicht hervorgerufen werden.

Jedenfalls wissen wir jetzt, wie die Störung zustande kommt, und jeder am Stereokomparator oder am Stereoautographen arbeitende Beobachter tut gut, diesen Dingen in Zukunft seine besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden. Er braucht nur vor Beginn der Messung die Marke auf irgendeinen Punkt der Landschaft oder auf einen Stern einzustellen und dann das Plattenpaar hin und her zu verschieben, so sieht er gleich, ob die Helligkeiten links und rechts gleich oder verschieden sind. Im ersten Falle geht die Marke in der gleichen scheinbaren Entfernung mit dem Objektpunkt geradlinig hin und her, im anderen Falle kreist sie um den Objektpunkt herum und zwar *von oben gesehen rechts herum*, wie die Kaffeemühle, *wenn das rechte Auge die größere Helligkeit erhält und links herum*, wenn die größere Helligkeit auf dem linken Auge liegt. Auch während des Ziehens einer Schichtlinie kann man eine solche Prüfung leicht in der Weise vornehmen, daß man in der Bewegung des Plattenpaares *plötzlich* einen Stillstand eintreten läßt und zusieht, wo die Marke dann steht. Waren die Helligkeiten gleich, so bleibt die an der Oberfläche entlang geführte Marke in Berührung mit ihr, im anderen Falle liegt sie davor oder dahinter.

So ist die anfänglich als unbequeme Störung empfundene Erscheinung der „kreisenden Marke“ *nicht mehr als Störung*, sondern als ein sehr nützlicher *Indikator* für das Vorhandensein eines Helligkeitsunterschiedes und als *Aufforderung* für den Beobachter anzusehen, diesen Helligkeitsunterschied entweder zum Verschwinden zu bringen — am einfachsten durch Dämpfung der helleren Lampe durch einen oder mehrere Bogen Pauspapier — oder, wo das nicht sofort tunlich ist, dem Einfluß des Helligkeitsunterschiedes auf die Messung durch eine entsprechend verlangsamte Bewegung des Plattenpaares aus dem Wege zu gehen.

Herr Fertsch, der sich um die Klarstellung dieser Dinge am meisten verdient gemacht hat, hat dann noch, als er mir das Ergebnis der Untersuchung mitteilte, darauf hingewiesen, daß sich alle diese Erscheinungen wohl dadurch erklären lassen, daß man annimmt, *daß die Bewegung der Marke auf dem helleren Bilde früher empfunden werde als die Bewegung der Marke auf dem weniger hellen Bilde*.

Ich habe, wie gesagt, den beschriebenen Stereoeffekt niemals selbst beobachten können, auch am Stereoautographen nie selbst gearbeitet. Wohl aber reizte es mich, die Erscheinung weiter zu verfolgen und mir Rechenschaft darüber zu geben, welchen Gesetzen sie folgt. Vor allem aber sagte ich mir, daß die Erscheinung der kreisenden



Marke — eine genügend große Empfindlichkeit vorausgesetzt — sich vielleicht als ein neues, äußerst willkommenes Hilfsmittel für die Aufgaben der *heterochromen Photometrie* verwerten lasse. Diese Vermutung hat sich in der Tat weit mehr als ich erwartet hatte bestätigt.

Über die erhaltenen Resultate werde ich im folgenden berichten. Bei den hierbei vorkommenden stereoskopischen Versuchen war ich natürlich, wie bei allen meinen Stereoarbeiten seit 1906 ausschließlich auf meine Überlegungen und, soweit es sich um eine experimentelle Bestätigung dieser Überlegungen handelte, auf die Hilfe anderer, gut stereoskopisch sehender Beobachter angewiesen.

## 2. Demonstration des in Frage stehenden Stereoeffektes.

Die vorbeschriebenen Erscheinungen lassen sich in folgender Weise leicht einem größeren Kreis von Personen sichtbar machen, wobei nur

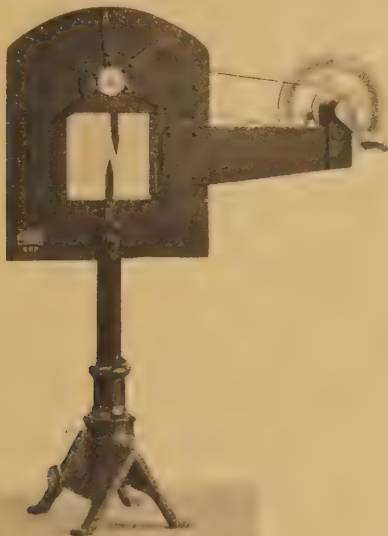


Fig. 3. Hilfsapparat A für die Demonstration des Stereo-Effektes im Auditorium.

vorausgesetzt wird, daß jeder Beobachter vorher in den Besitz eines Rauchglases oder irgendeiner anderen Vorrichtung gesetzt wird, die ihn in den Stand setzt, die Verdunkelung des einen oder des anderen Auges vorzunehmen. Personen, die aus irgendeinem Grunde nicht stereoskopisch sehen können, müssen natürlich auf die Wahrnehmung des Effektes verzichten.

Wir projizieren auf den weißen Schirm das Schattenbild von zwei übereinander stehenden vertikalen Marken, von denen die eine ihren Ort unverändert beibehält, während die andere immer in der gleichen Richtung an der feststehenden vorbeigeführt wird. Die hierzu dienende in den Projektionsapparat einzusetzende Anordnung ist aus Fig. 3 zu ersehen. Sie besteht aus einer dreh-

baren Scheibe mit einer Reihe von daran befestigten Marken. Im allgemeinen wird jeder Beobachter im freien Anblick noch nichts von dem in Frage stehenden Stereoeffekt wahrnehmen. Sobald aber das Rauchglas vor das eine oder das andere Auge gehalten wird, tritt der Effekt sofort in größter Deutlichkeit in die Erscheinung. Dreht man die Scheibe so, daß sich auf dem Schirm die Marken von links nach rechts bewegen, so gehen die Marken, wenn das Rauchglas vor das linke Auge gehalten wird, *hinter* der feststehenden vorbei. Dreht man in umgekehrter Richtung, so gehen die Marken *vorn* vorbei. Steigere ich die Geschwindigkeit, so wird der Effekt immer größer. Halte ich plötzlich an, so erscheinen die Marken wieder in der gleichen Entfernung mit der feststehenden.

Wir können die dunklen Marken auf hellem Grunde auch durch helle Marken auf dunklem Grunde ersetzen und zwar dadurch, daß wir die Scheibe mit den Marken zum Auswechseln gegen

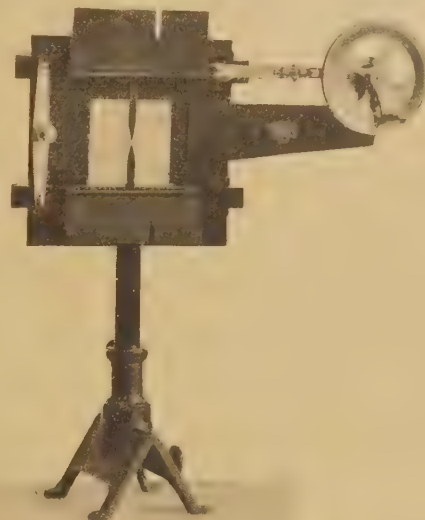


Fig. 4. Hilfsapparat B für die Demonstration des Stereo-Effektes im Auditorium.

eine Scheibe mit Löchern oder gegen eine andere Scheibe mit radialen Schlitten am Rande einrichten. Der Effekt bleibt der gleiche. Die Anordnung eignet sich besonders zum Studium der hinter den Marken herlaufenden Nachbilder, aber weniger für die eigentlichen photometrischen Messungen.

Um das *Kreisen der Marke* zu zeigen, benutzen wir eine ebenfalls in den Projektionsapparat einzusetzende Vorrichtung, wie sie in Fig. 4 wiedergegeben ist. Setzen wir durch Drehen an der Kurbel den Apparat in Bewegung, so sieht man die bewegte Marke gradlinig hin- und hergehen. Wird jetzt wieder das Rauchglas vor das eine oder das andere Auge gehalten, so macht sich das *Kreisen der Marke* um die fest-

stehende herum sofort bemerkbar. Der *Sinn der Bewegung* ist immer so, wie ich oben angegeben hatte: *von oben gesehen rechts herum, wenn das rechte Auge, und links herum, wenn das linke Auge die größere Helligkeit erhält.* Läßt man auch hier die Marke langsam hin- und hergehen, so wird man, auch wenn man das Rauchglas vor ein Auge hält, kaum noch ein Kreisen der Marke wahrnehmen.

Auch hier können wir die dunklen Marken auf hellem Grund durch helle auf dunklem Grund ersetzen. Wir haben zu dem Ende, wie aus Fig. 4 ersichtlich, an dem Träger der hin- und hergehenden Marke eine vorschlagbare Klappe mit einem Fenster und an dem Träger der feststehenden Marke eine vorschlagbare Klappe mit einem ebensolchen Fenster angebracht. Wir brauchen also nur die Klappen umzulegen, um von dunklen zu hellen Marken überzugehen<sup>4)</sup>.

Wie ich bereits oben erwähnte, kann man zur Verdunkelung des Auges auch jede andere hierfür geeignete Vorrichtung benutzen, so z. B. ein Stück schwarzes Papier mit einem Loch darin von etwa 2—3 mm Durchmesser, welches die Pupille einengt. Auch kann man das Kreisen der Marke in der Weise sehen, daß man ein Auge halb zukneift.

Selbstverständlich kann zur Verdunkelung des Auges *auch jedes beliebige Farbglas* benutzt werden, da ja die Farbwirkung dieser Gläser ausschließlich darauf beruht, daß ein Teil des auffallenden weißen Lichtes darin zurückgehalten wird. Auf das Verhalten der verschiedenen Farben zur kreisenden Marke komme ich weiter unten näher zurück.

Endlich sei noch darauf hingewiesen, daß man das „Kreisen der Marken“ *auch ohne Projektionsapparat* demonstrieren kann. Wir brauchen nur einen Bleistift oder einen Stock in vertikaler Lage vor einen hellen Hintergrund hin und her zu bewegen. Im Zimmer und am Tage finde ich folgende Anordnung empfehlenswert. Man befestigt an einer gegen den hellen Himmel gerichteten Fensterscheibe mit etwas Wachs einen Bleistift in vertikaler Lage, hält darunter ebenfalls in vertikaler Lage einen zweiten Bleistift und bewegt ihn auf der Scheibe hin und her. Im freien Handgebrauch gerät man leicht mit der Hand in eine kreisende Bewegung, was durch das Auflegen des Stiftes auf die Scheibe vermieden wird. Abends kann man ein auf den Tisch gelegtes und von der Tischlampe beleuchtetes Blatt weißes Papier als Hintergrund für die beiden Bleistifte verwenden.

<sup>4)</sup> Der in Fig. 4 wiedergegebene Apparat ist noch mit einigen weiteren Einrichtungen versehen, über deren Verwendung weiter unten (unter 12) nähere Angaben erfolgen werden. So können wir 1. die Länge der Kurbelstange verändern und damit den Mittelpunkt der kreisenden Marke zur Seite verlegen und 2. durch Einschalten eines Hebels die bisher als feststehend bezeichnete Marke an der Bewegung in entgegengesetzter Richtung teilnehmen lassen.

Wenn man bedenkt, mit *welch einfachen Mitteln* die Erscheinung der kreisenden Marke hervorgerufen werden kann, so kann man sich nur darüber wundern, daß sie anscheinend nicht schon früher einmal beobachtet worden ist, wozu doch jeder Uhrenladen die Gelegenheit bietet. Der Fall zeigt wieder einmal, wie wenig im allgemeinen beim Kulturmenschen die Gabe der reinen, durch keine Überlegung und Erfahrung beeinflussten Beobachtung entwickelt ist. Gibt es doch, wie sich jetzt herausgestellt hat, Personen, die auch im freien Sehen das Kreisen der Marke sehen, links oder rechts herum, je nachdem bei dem betreffenden Beobachter das linke oder das rechte Auge schneller reagiert als das andere. In solchen für den Augenarzt besonders beachtenswerten Fällen konnte jedesmal eine mehr oder weniger große, durch einseitigen Gebrauch oder andere Ursachen erworbene Ungleichheit der beiden Augen nachgewiesen werden.

### 3. Die nähere Erklärung des Stereoeffektes.

Es sei *SS* in Fig. 5 der Projektionsschirm, es seien ferner *A<sub>1</sub>* und *A<sub>2</sub>* die auf die feststehende Marke *n* gerichteten Augen des Beobachters und

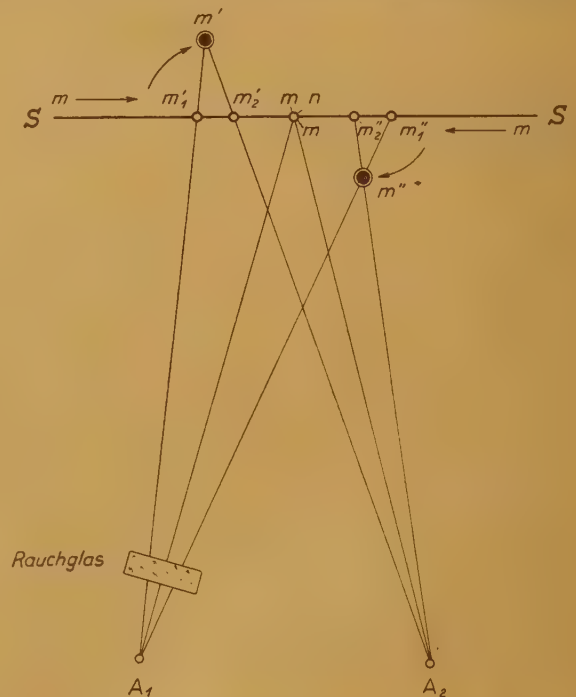


Fig. 5. Wie das Kreisen der Marke zustande kommt.

*m* die hin- und hergehende Marke. Wie bei allen Nervenreizungen vergeht auch hier zwischen dem Moment der Erregung der Netzhaut durch einen Lichtreiz und dem seiner Empfindung eine gewisse Zeit. Es ist also ganz natürlich, daß wir *einen bewegten Gegenstand niemals an seiner wahren Stelle sehen*, sondern dort, wo er um die Zeitdifferenz zwischen Erregung und Empfindung vorher gewesen ist, und ferner, daß diese Orts-



verschiebung um so größer ist, je größer die Geschwindigkeit des bewegten Körpers ist. In dem Augenblick also, in dem die bewegte Marke  $m$  von links kommend, an der feststehenden Marke  $n$  vorbeigeht, sehen beide Augen, sofern der Zeitverlust für beide Augen gleich groß ist, die Marke  $m$  an einer mehr oder weniger links gelegenen Stelle, beispielsweise in  $m'_2$ . Dieses Zurückbleiben des scheinbaren Ortes hinter dem wahren Ort von  $m$  werden wir, da die Geradlinigkeit der Bewegung erhalten bleibt, natürlich nicht gewahr. Sobald wir aber ein Auge, z. B. in Fig. 5 das linke Auge, durch ein Rauchglas verdunkeln, so wird jetzt unter der obigen Annahme, daß die Zeitdifferenz zwischen Erregung und Empfindung infolge der Verdunkelung größer wird, das linke Auge die bei  $n$  befindliche Marke  $m$  nicht mehr in  $m'_2$ , wie dies das rechte Auge tut, sondern in dem noch weiter links gelegenen Punkt  $m'_1$  sehen. Für den stereoskopischen Anblick resultiert hieraus also ein Raumbild  $m'$ , das nicht mehr in der gleichen Entfernung mit  $n$ , sondern mehr oder weniger dahinter gesehen wird. Die aus der Helligkeitsdifferenz der beiden Augen hervorgegangene Zeitdifferenz der beiden Empfindungen hat sich in eine Raumdifferenz, den beobachteten Tiefenunterschied von  $m$  und  $n$  umgewandelt, gewissermaßen eine Bestätigung des Ausspruches, den Richard Wagner im Parsival dem Gralsritter Gurnemanz in den Mund legt: „Du siehst, mein Sohn, zum Raum wird hier die Zeit.“

Kommt die Marke  $m$  aus ihrer Extremlage rechts bei  $n$  an, so liegen ihre beiden scheinbaren Orte  $m''_1$  und  $m''_2$  rechts von  $n$  und wieder für das linke Auge weiter fort von  $n$  als für das rechte Auge. Das Raumbild  $m''$  erscheint also jetzt vor  $n$ . In den Umkehrlagen links und rechts wird die Marke  $m$  jedesmal sehr nahe an ihrer wahren Stelle gesehen, so daß eine Art kreisende Bewegung entsteht, deren Tiefenausdehnung mit der Helligkeitsdifferenz der beiden Lichteindrücke und der Geschwindigkeit des bewegten Körpers immer mehr zunimmt.

Wir hatten gesehen, daß es für den Verlauf der Erscheinung keinen Unterschied macht, ob die Marken dunkel auf hellem Grund oder hell auf dunklem Grunde sind. Und doch besteht zwischen beiden Vorgängen ein Unterschied, der der Beachtung wert ist. Denn bei der Verschiebung einer hellen Marke findet jedesmal an der Stelle der Netzhaut, wo die helle Marke vorüberzieht, zuerst ein Lichtreiz statt, dem dann nach kurzer Dauer ein Erlöschen des Lichtreizes folgt, während bei einer bewegten dunklen Marke auf hellem Grunde an derselben Stelle der Netzhaut der vorhandene Lichtreiz zuerst gelöscht wird und nach kurzer Ausschaltung wieder von neuem einsetzt. Der Unterschied ist aber vielleicht deshalb für den Verlauf der Erscheinung belanglos, weil anscheinend das Erlöschen eines Lichtreizes und das Auftreten eines gleich starken Lichtreizes um

die gleiche Zeit später empfunden wird. Wäre es anders, so müßte eine von parallelen Seiten begrenzte hin- und hergehende Marke beim Kreisen abwechselnd den rechten oder linken Rand vortreten lassen, eine Erscheinung, die aber von gut stereoskopisch sehenden Beobachtern nicht bestätigt wird. Vielmehr bleibt nach diesen Versuchen die ebene Fläche der Marke beim Kreisen sich selbst parallel.

Ich muß dahingestellt sein lassen, ob und inwieweit bei der Erscheinung der kreisenden Marke nicht auch Kontrastwirkungen in Rechnung zu stellen sind. Über „Wesen und Veränderlichkeit der Konturen optischer Bilder“ hat Herr Dr. A. Köhl, München, auf der vorjährigen Astronomenversammlung in Potsdam einen sehr interessanten Vortrag (abgedruckt in der Central-Zeitung für Optik und Mechanik, Jahrg. 42, Nr. 25, S. 375, 1921) gehalten, in dem er auf „eine neue physiologisch begründete Definition des Wesens der Bildumrandung“ aufmerksam macht und nachweist, daß die auf Grund der Kontrastwirkung aufgebaute Theorie der Bildumgrenzung in Übereinstimmung ist mit der Erfahrung. Seine Ausführungen beziehen sich aber fast ausschließlich auf ruhende Bilder, nicht aber, wie im vorliegenden Falle, auf bewegte und für beide Augen ungleich helle Bilder.

#### 4. Der Weg, den die kreisende Marke $m$ auf ihrem Umlauf um $n$ zurücklegt.

Der zur Demonstration der kreisenden Marke von uns benutzte Apparat Fig. 4 ist in Fig. 6 rechts unten in schematischer Zeichnung wiedergegeben. Wir bezeichnen mit  $l$  die Länge der Kurbelstange und mit  $r$  den Radius der Drehscheibe. Es ist dann der Abstand  $s$  der Marke  $m$  von ihrer äußersten Lage links (für  $\alpha = 0$ ) gegeben durch:

$$s = l + r - (l^2 - r^2 \sin^2 \alpha + r \cdot \cos \alpha).$$

Wird gleichmäßig gedreht, so haben wir in dem Drehungswinkel  $\alpha$  der Scheibe zugleich ein Maß für die Zeit. Durch die Strecke  $s$  ist also der Ort der bewegten Marke in jedem beliebig gewählten Zeitpunkt festgelegt, sofern die Zeit einer Umdrehung der Scheibe bekannt ist. Wir tragen also als Ordinate die Zeit und als Abszisse die Strecke  $s$  auf und erhalten beispielsweise für  $l = 3r$  die ausgezogenen Kurven in Fig. 6, von denen die eine links der langsameren Bewegung (1 Umdrehung = 2 sec.), die andere rechts der schnelleren Bewegung (1 Umdrehung = 1 sec.) zukommt.

Da wir den Zeitunterschied zwischen Erregung und Empfindung als unabhängig von der Geschwindigkeit des bewegten Körpers ansehen dürfen, so brauchen wir, um auch seinen scheinbaren Ort zu finden, nur die Kurve für den wahren Ort um den dem betreffenden Auge zukommenden Zeitunterschied in der Richtung der Ordinatenachse zu verschieben, in dem der Fig. 5

zugrunde gelegten Beispiel also für das linke Auge mehr als für das rechte. So entstehen die beiden punktierten Kurven in Fig. 6, und wir sehen, daß dadurch in jedem beliebig gewählten Zeitpunkt die Lage der drei Orte nebeneinander bestimmt ist. Wir können also jetzt, wenn wir für jedes Auge die Größe des Zeitunterschiedes zwischen Erregung und Empfindung kennen, berechnen oder konstruieren, wo sich das Raumbild in dem betreffenden Moment befindet. Auch ist zu sehen, daß sich der seitliche Abstand der drei Orte und damit auch der Stereoeffekt mit zu-

dadurch ausgezeichnet, daß wir gleich eine ganze Schar von Kurven erhalten, deren jede einem bestimmten Zeitintervall zwischen den beiden Empfindungen entspricht, und die wir je nach der Wahl des Vorzeichens der Zeitdifferenz als rechts- oder linksläufig ansehen können. Wir bezeichnen die so erhaltenen Kurven zum Unterschied von den in der Stereo-Photogrammetrie bekannten und durch eine analoge Konstruktion erhaltenen „Kurven gleicher Parallaxen“ als *Kurven gleicher Zeitparallaxen*.

Die unsymmetrische Form der Kurven in

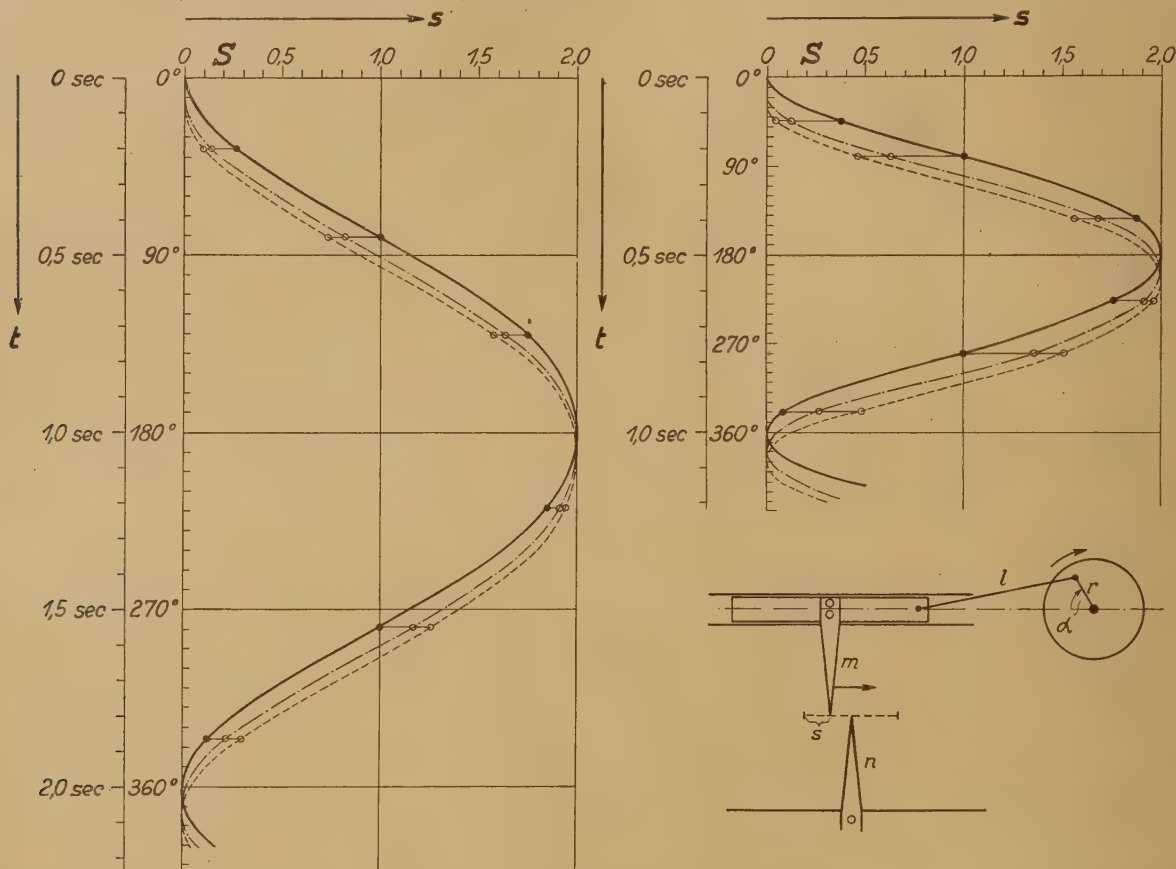


Fig. 6. Die Lage der einzelnen Markenbilder zueinander für einen Umlauf und ihre Abhängigkeit von der Geschwindigkeit.

nehmender Geschwindigkeit immer mehr vergrößert.

Einfacher finden wir den Weg, den die kreisende Marke nimmt, durch die in Fig. 7 wiedergegebene Konstruktion. Sie rührt von meinem Sohn Dr. phil. Hans Pulfrich her, der mir vorschlug, die nach gleichen Zeitintervallen fortschreitenden Strecken  $s$  auf einer Geraden aufzutragen und durch die so gewonnenen Endpunkte und die beiden Augen ( $A_1$  und  $A_2$  in Fig. 7) des Beobachters Geraden zu ziehen. Verbindet man dann die zusammengehörigen Schnittpunkte dieser Geraden durch eine Linie, so erhält man in ihr ohne weiteres den Weg, den das Raumbild der Marke genommen hat. Die Konstruktion ist

Fig. 7 links hat in dem der Rechnung zugrunde gelegten Verhältnis  $l:r=3$  ihren Grund. Wählt man die Kurbelstange  $l$  sehr groß im Verhältnis zu  $r$ , oder sorgt in anderer Weise für eine reine Sinusbewegung, so nehmen die Kurven gleicher Zeitparallaxen die in Fig. 7 rechts angegebene Form an. Der Unterschied der beiderseitigen Kurven tritt auch im Experiment deutlich in die Erscheinung.

Ich möchte bei dieser Gelegenheit noch auf einen weiteren hierher gehörigen Versuch aufmerksam machen. Wir setzen auf eine horizontale Drehscheibe zwei Stäbe, den einen zusammenfallend mit der Drehachse, den anderen außerhalb derselben und setzen die Scheibe in schnelle



rechtsläufige Bewegung. Hält man jetzt vor das linke Auge das Rauchglas, so bleibt der Sinn der Drehung (rechts herum) des Raumbildes erhalten, nur sind die scheinbaren Ausschläge nach vorn und hinten sehr viel größer geworden. Hält man dagegen das Rauchglas vor das rechte Auge, so kehrt sich schon bei mäßiger Geschwindigkeit der Sinn der Drehung um. Man sieht also dann den

Stab *links herum* laufen. Überläßt man jetzt die Scheibe sich selbst, so werden in dem Maße, wie die Geschwindigkeit abnimmt, die Ausschläge nach vorn und hinten immer kleiner. In einem bestimmten Moment sieht man dann den Stab geradlinig hin und her gehen und gleich darauf *rechts herum* laufen, wie er es in Wirklichkeit tut. Über den Weg, den in diesen Fällen das Raum-

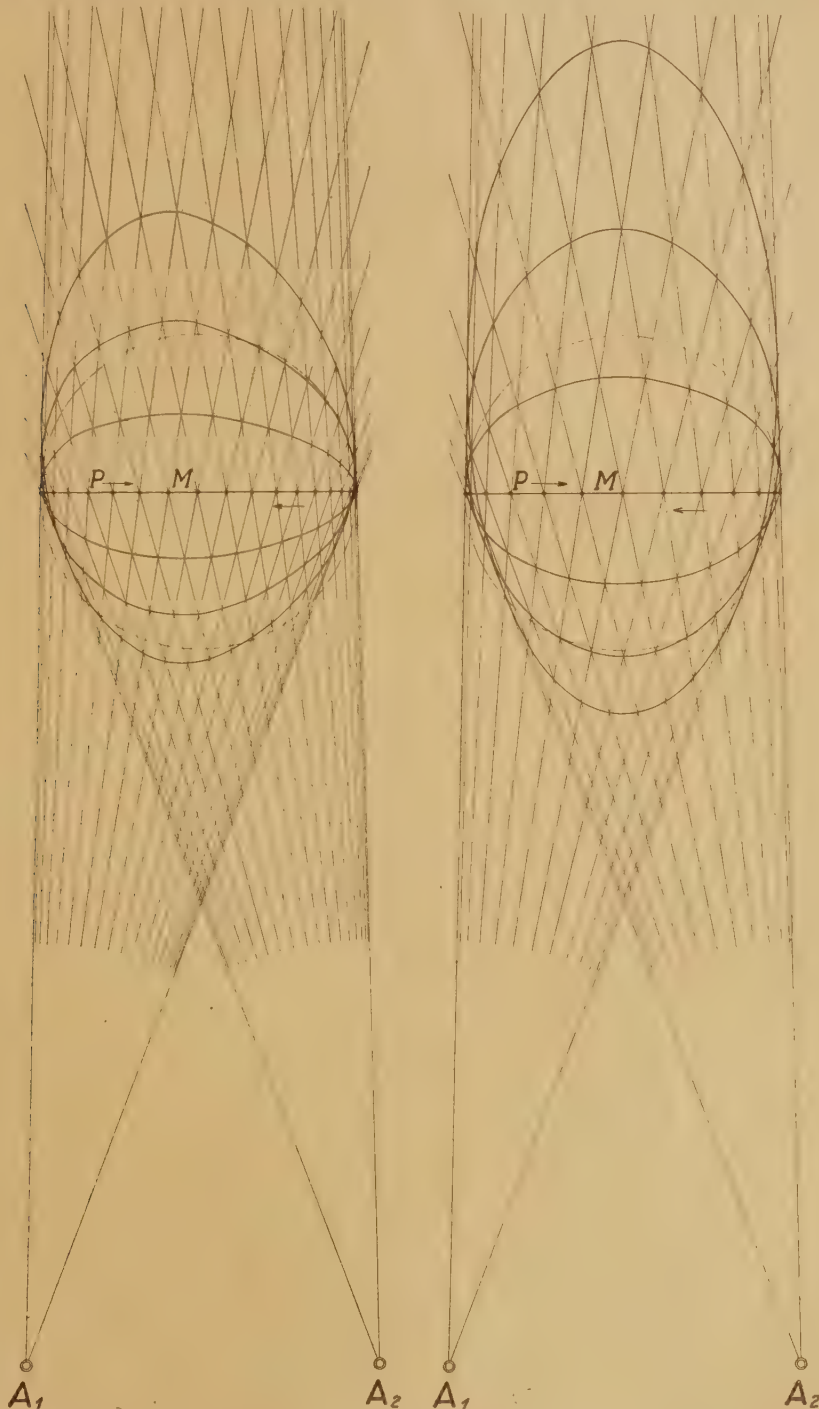


Fig. 7. Kurven gleicher Zeitparallaxen für den Fall, daß der Punkt  $P$  in der Ebene der beiden Blickrichtungen eine geradlinige und ungleichförmig beschleunigte Bewegung ausführt.  
Schlittenweg für Kurbelbetrieb  $l:r = 3$ . Einfache Sinusbewegung  $l:r = \infty$ .

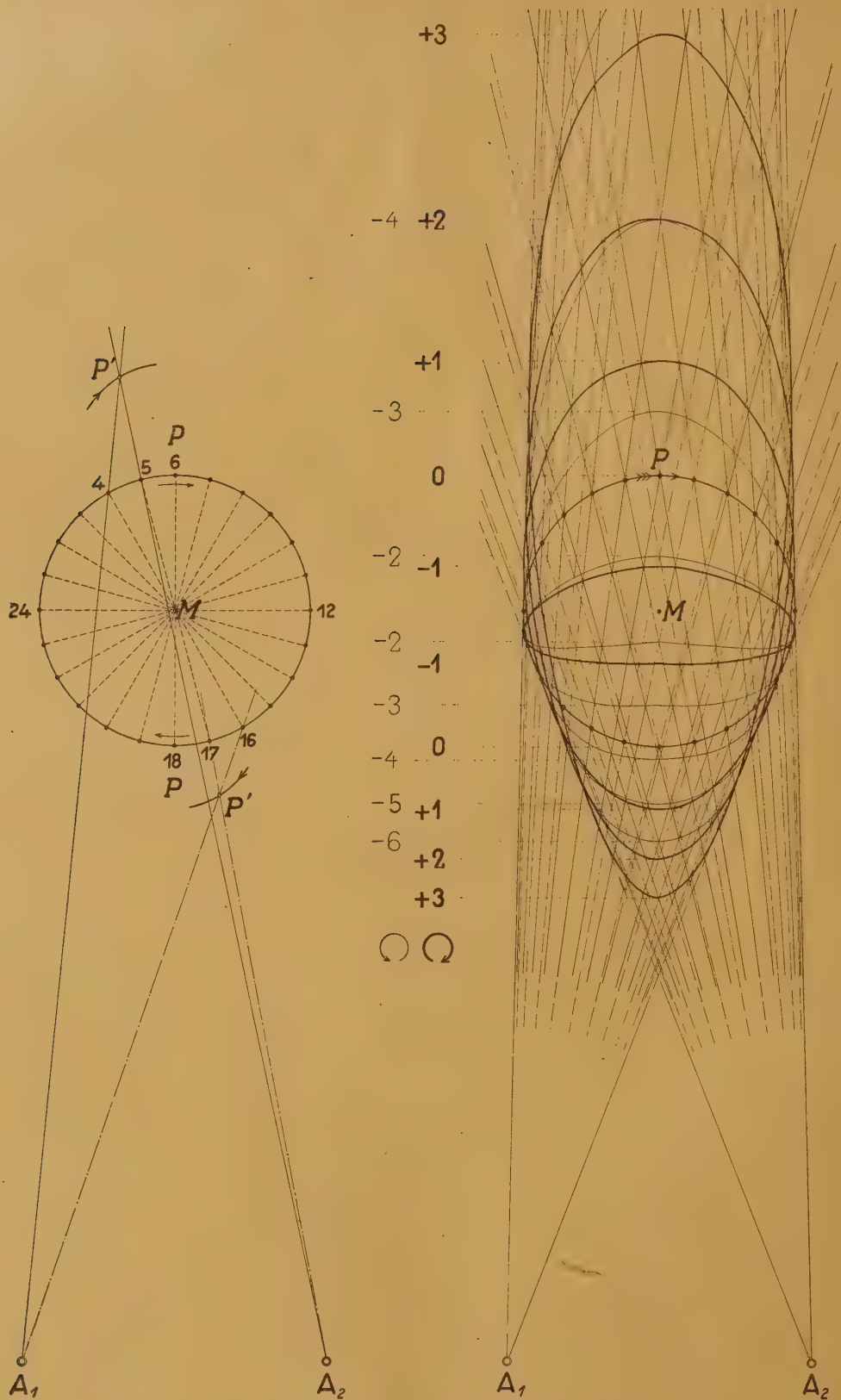


Fig. 7 a. *Kurven gleicher Zeitparallaxen* für den Fall, daß der Punkt  $P$  in der Ebene der beiden Blickrichtungen eine gleichmäßige Kreisbewegung um  $M$  ausführt.



bild nimmt, gibt die nach der obigen Konstruktion gefundene Schar von Kurven gleicher Zeitparallaxen, wie sie in Fig. 7a wiedergegeben sind, Aufschluß. Setzt man zwei Stäbe in verschiedenem Abstand vom Zentrum auf die Scheibe, so tritt die scheinbare Umkehr der Bewegung für die beiden Stäbe nicht zu der gleichen Zeit ein, der äußere Stab scheint dem inneren nachzulaufen.

### 5. Ermittlung des Zeitunterschiedes der beiden Empfindungen.

Den absoluten Betrag des Zeitunterschiedes zwischen Erregung und Empfindung wollen wir vorläufig unerörtert lassen und uns damit begnügen, die Differenz der beiderseitigen Zeitunterschiede zu ermitteln. Zu dem Zwecke wurden auf den Stereo-Komparator zwei identische Kreuzgitter auf Glas im Format  $13 \times 18 \text{ cm}^2$  (Kontakkopien des bei photographischen Himmelsaufnahmen im Gebrauch befindlichen sog. Gautier-Gitters mit 5 mm Strichabstand) gelegt und so justiert, daß von den senkrecht zueinander stehenden Strichen die einen der Horizontalverschiebung des Plattenpaares parallel gerichtet waren. Hatte man dann einen der Vertikalstriche mit aller Sorgfalt auf die gleiche scheinbare Entfernung mit der Meßmarke im Stereo-Mikroskop eingestellt, so war das bei der bekannten Güte dieser Gitter auch für alle übrigen Vertikalstriche der Fall. Sind die Helligkeiten links und rechts gleich, so kann man das Plattenpaar mehr oder weniger schnell an den Augen des Beobachters vorbeiführen, ohne daß eine Änderung in der Tiefenlage der Gitterstriche zur Meßmarke beobachtet wird. Die maximale Geschwindigkeit, bei der ein gut stereoskopisch sehender Beobachter noch mit Sicherheit die Tiefenlage der Striche zur Meßmarke beurteilen kann, wird erreicht, wenn ein Strich des Gitters das Gesichtsfeld in rund  $\frac{1}{2}$  sec. durchläuft. Das entspricht einer Winkelbewegung im freien Sehen von etwa  $50^\circ$  pro Sekunde. Natürlich kann man bei einer solchen Geschwindigkeit in den zwischen den Extremlagen gelegenen Phasen der Bewegung die einzelnen Striche nicht mehr unterscheiden. Man sieht hier wie bei dem hin und her gehenden Taktstock des Kapellmeisters infolge der den einzelnen Strichen nachlaufenden Nachbilder ein verwaschenes Etwas vorüber huschen, von dem man nicht sagen kann, was eigentlich sein Inhalt ist. Eben- sowenig kann man bei dieser Geschwindigkeit der Bewegung ein Urteil darüber abgeben, ob die Striche wirklich gerade sind oder nicht. Und trotzdem diese Sicherheit im Erfassen des stereoskopisch wahrgenommenen Raumbildes! Das ist eben der große Vorzug der Stereo-Methode vor der monokularen, auf den ich schon früher einmal (Z. f. Instr. Kunde XXII, 1902, S. 70), als ich noch stereoskopisch sehen konnte, hingewiesen

habe. Ich sagte damals, daß es mit dem stereoskopischen Entfernungsmesser mit Tiefenskala ein Leichtes sei, „die Entfernung von nur kurze Zeit sichtbaren Objekten zu ermitteln, die, wie z. B. ein vorüberfliegender Vogel oder die durch den Geschoßeinschlag aufgeworfenen Erd- oder Wassergarben schon längst wieder verschwunden sind, ehe man sich über ihre Gestalt und Gliederung eine rechte Vorstellung gebildet hat“.

Nunmehr wurden die beiden Gitter ungleich hell beleuchtet, und zwar geschah das in einfacher Weise so, daß auf der einen Seite zwischen Lampe und Spiegel einige Bogen dünnes Pauspapier eingeschaltet wurden. Während ich durch tunlichst gleichmäßiges Drehen an der Kurbel das Plattenpaar verschob und mit der Stoppuhr in der Hand die Geschwindigkeit der Bewegung des Plattenpaares bestimmte, stellte der in den Apparat schauende Beobachter mit Hilfe der Parallaxenschraube die wandernde Marke auf das vorüberziehende scheinbar nach vorn oder nach rückwärts im Raum verschobene Gitter ein. Diese Einstellung an sich macht, wie gesagt, keinerlei Schwierigkeit. Nur zeigte sich, daß man mit der Hand die Kurbel nicht gleichmäßig genug drehen kann, um eine konstante Tiefenlage des vorüberziehenden Raumbildes zu erwirken. Es pendelte bei jeder Umdrehung der Kurbel etwas nach vorn und hinten, so daß immer nur auf eine mittlere Lage des Raumbildes eingestellt werden konnte. Daher ist die Genauigkeit der so gewonnenen Parallaxen nicht so groß, wie sie bei Benutzung eines gleichmäßig gehenden Motors hätte sein können. Die für verschiedene Geschwindigkeiten und verschiedene Grade der Verdunkelung so gewonnenen Zeitparallaxen wurden graphisch aufgetragen und durch die beiden in Fig. 8 wiedergegebenen Geraden ausgeglichen. Wir verzeichnen vorbehaltlich der Wiederholung dieser Versuche mit Motorantrieb als Resultat der vorliegenden Messungsreihen, daß die durch den Helligkeitsunterschied hervorgerufene Parallaxenänderung sowohl der Geschwindigkeit der Bewegung als auch dem Helligkeitsunterschied einfach proportional ist.

Setzen wir wie oben voraus, daß der Zeitunterschied zwischen Reiz und Empfindung von der Geschwindigkeit des bewegten Körpers unabhängig ist, so muß dieselbe Unabhängigkeit von der Geschwindigkeit auch gelten für den Zeitunterschied der beiden Empfindungen. Dieser Unterschied hängt also nur ab von der Helligkeitsdifferenz. Das geht auch aus unseren Versuchen in Fig. 8 hervor. Zwar wird die Parallaxe mit wachsender Geschwindigkeit immer größer, so daß das eine Gitter um einen immer größer werdenden linearen Betrag hinter dem anderen herläuft, aber gleichzeitig wird auch der vom Gitter in einer Sekunde zurückgelegte Weg immer größer, und zwar so, daß das Verhältnis der beiden Strecken, das ist die gesuchte Zeitdifferenz, konstant bleibt. Für die obere Versuchsreihe in

Fig. 8 berechnet sich somit die Zeitdifferenz der beiden Empfindungen zu 0,02 sec. und für die untere Reihe zu 0,01 sec. Wenn man bedenkt, daß ein gut stereoskopisch sehender Beobachter noch mit Leichtigkeit Parallaxen im Betrage von 0,01 mm erkennen kann, so ist klar, daß auf diese Weise noch Zeitdifferenzen der beiderseitigen Empfindungen im Betrage von weniger als 0,001 sec. gemessen werden können.

Für die später noch anzustellenden Überlegungen ist es ferner von Interesse, zu wissen, wie groß die Zeit ist, während der die einzelnen

hervorgerufene Helligkeitsdifferenz die Geschwindigkeit in der Fortbewegung des Plattenpaares beim Ziehen einer Schichtlinie nicht über 0,5 mm, bei 4 Blatt Pauspapier nicht über 1 mm hinausgehen darf. Das sind schon ziemlich starke Helligkeitsunterschiede, die in der Regel beim Stereo-Autographen nicht vorkommen. Immerhin ist aus diesen Zahlen zu ersehen, daß man auch bei einer nicht vollkommen beseitigten Helligkeitsdifferenz, wie bereits früher (S. 556) erwähnt wurde, fehlerfreie Schichtlinien ziehen kann, wenn man nur auf den Helligkeitsunter-

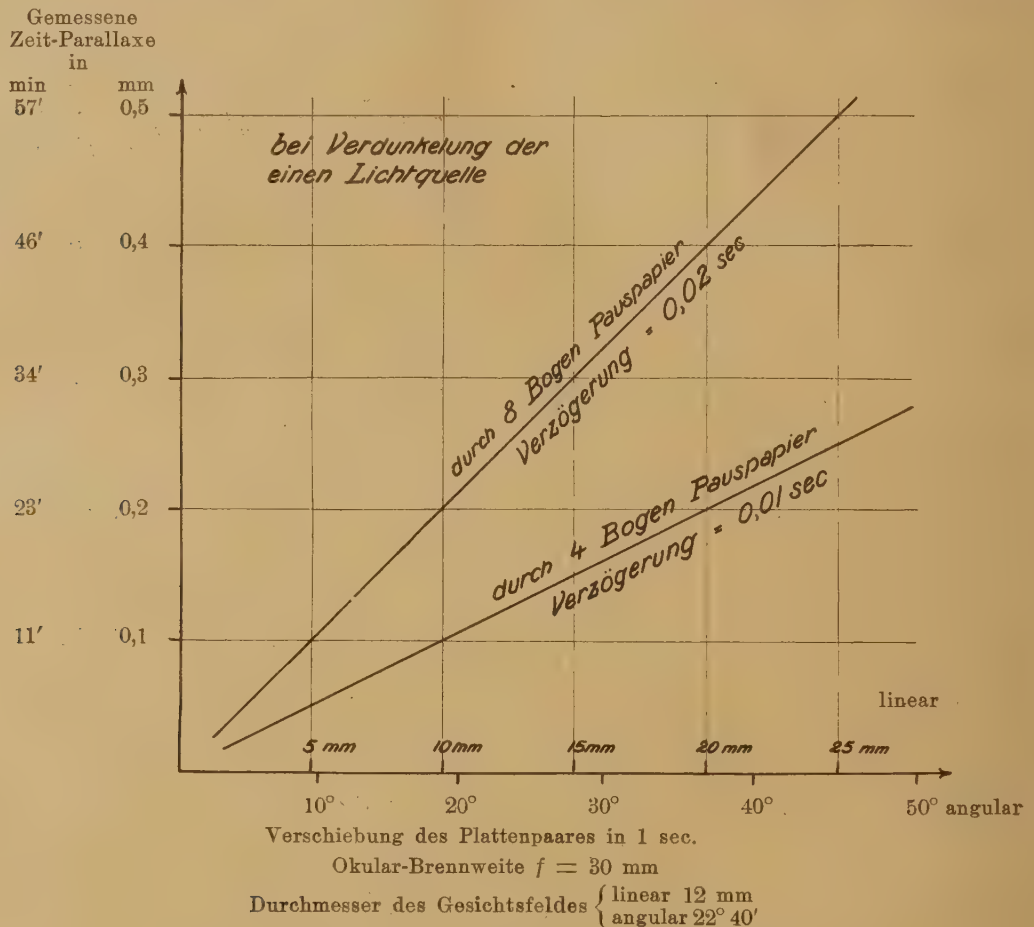


Fig. 8. Auf dem Stereo-Komparator gemessene Zeit-Parallaxen.

Empfindungselemente der Netzhaut dem Lichtreiz durch die vorüberziehenden Gitterstriche ausgesetzt sind. Sie beträgt für die in Fig. 8 angegebenen Geschwindigkeiten von 5 bis 35 mm pro Sekunde 2 bis herab zu 0,3 Tausendstel einer Sekunde.

Von praktischer Bedeutung ist endlich die Frage, wie groß die Geschwindigkeit in der Bewegung des Plattenpaares höchstens sein darf, wenn die eben noch erkennbare Parallaxe im Betrage von 0,01 mm nicht überschritten werden soll. Die Antwort gibt uns wieder Fig. 8. Man sieht, daß für eine durch 8 Blatt Pauspapier

schied achtet und dafür sorgt, daß an den Stellen des Plattenpaares, wo eine solche Helligkeitsdifferenz vorkommt, nicht gar zu schnell die Schichtlinien gezogen werden. Übrigens ist die Gefahr, bei geringen Helligkeitsunterschieden Fehler zu begehen, an sich schon gering, da selbst geübte Beobachter selten über eine Geschwindigkeit von 2 mm in der Bewegung des Plattenpaares beim Ziehen einer Schichtlinie hinauskommen.

(Fortsetzung folgt.)



## Vorläufige Bemerkungen zu: Friedrich von Lucanus' Die Rätsel des Vogelzuges<sup>1)</sup>.

Von Fritz Braun, Danzig.

Wer sich über *Friedrich von Lucanus'* neues Buch, das die Rätsel des Vogelzuges behandelt, unternehmungslustig hermacht, um es, geführt von dem blätternden Daumen, zu „besprechen“, würde gar bald zu der Erkenntnis gelangen, daß er sich solche Aufgabe viel zu leicht dachte. Dagegen eignete sich das Werk sehr gut dazu, den Fachgenossen, die schon in dieser Gedankenwelt leben, als Führer zu dienen, der es ihnen gestattet, ihre eigenen Gedanken übersichtlicher zu ordnen und in ihrer logischen Auswirkung besser zu nützen.

Solche Bücher, die, wie unser Werk, eine Art Inventuraufnahme unseres Wissens hinsichtlich eines recht großen Begriffskreises darstellen, möchte ich wohl in zwei Gruppen ordnen. Die einen vermögen uns trotz allen Müheaufwands nicht zu befriedigen, weil vorgefaßte Meinungen den gedanklichen Schwerpunkt des Ganzen in eine falsche Lage zu rücken suchen und uns auf Schritt und Tritt zeigen, daß der Verfasser sich nicht über den Stoff erhob, sondern dem eigensten Eigensinn verhaftet blieb. Die anderen legen wir mit einem aufrichtigen Gefühl des Dankes aus der Hand, weil wir empfinden, daß ihr Schöpfer, mögen wir auch in vielem anderer Meinung sein, selbstlos sichtigend und ordnend auch für uns geschaffen hat. Das Buch, dem diese Ausführungen gelten, möchte ich bedingungslos der zweiten Gruppe überweisen.

Die ersten Veröffentlichungen unseres Verfassers, die mir selber dereinst zu Gesicht kamen, waren Arbeiten über die Höhe des Vogelfluges, in denen der Luftschiffer und Vogelkundige zusammenwirkten. Da es sich dabei zumeist nur um nüchterne Aufzählungen handelte, vermochten sie mich nicht sonderlich zu begeistern, ebenso wenig etwa wie die klimatologischen Vorträge, die meine Kommilitonen dereinst in dem erdkundlichen Seminar darboten, weil sie sich dabei in der Regel auf die Schilderung des rein Zuständlichen beschränkten, ohne es uns als ein Gewordenes und Bedingtes recht begreiflich zu machen. So rieb ich mir denn gewissermaßen gehörig die Augen, als ich denselben Verfasser später als trefflichen Tierbeobachter kennen lernte, und sein letztes Buch über den Vogelzug zeigt mir, daß ich noch ein gut Teil besser über ihn denken müßte. Auch jene früheren Wahrnehmungen mit aeronautischen Hilfsmitteln haben in unserem Werke in dem geradezu musterhaft klaren und wohlgedachten siebenten Kapitel: „Höhe des Zuges“ eine zusammenfassende Behandlung gefunden.

<sup>1)</sup> Langensalza. Hermann Beyer u. Söhne (Beyer u. Mann). 1921. 234 S. mit vier Textabbildungen und einer Tafel. Br. M. 30.—; geb. M. 37.—.

Die Stärke des neuen Werkes beruht darin, daß sein Schöpfer vor allen Dingen darauf ausgeht, eine Inventur dessen aufzunehmen, was wir auf diesem Gebiet als sichere Erkenntnis bezeichnen dürfen. Während diese Tatsachen in das hellste Licht gerückt werden, bleibt alles Fragliche, Hypothetische gebührenderweise im Zwielicht. Das ist gerade auf unserem Gebiet überaus dankenswert; zeigt uns doch die Erfahrung, wie wenig gerade auf ihm mit den scheinbar heldischen Husarenstückchen fürwitziger Hypothesen (wir erinnern nur an *Gräser*) dem wirklichen Fortschritt gedient ist. Daß *von Lucanus* ein gut Teil dessen, was er hier zu bieten vermochte, anderen schuldig ward, versteht sich bei der Lage der Dinge von selber, ebenso gut, wie die Tatsache, daß wir dabei an den trefflichen Leiter der Vogelwarte zu Rossitten, Prof. Dr. *Thienemann*, in erster Linie zu denken haben.

Auch dafür sind wir *von Lucanus* Dank schuldig, daß diese Zusammenstellung uns so recht zu Gemüte führt, wie eng begrenzt der Raum (wieviel Prozent wohl? —) unserer Erdoberfläche ist, der wirklich tatkräftig in den Bereich solcher Untersuchungen gezogen worden ist. Daß selbst die emsigen Arbeiten der Nordamerikaner in *Lucanus'* Buch im Halbdunkel bleiben, erweckt wohl kaum falsche Vorstellungen. Sollten uns diese Tatsachen nicht um so mehr vor Verallgemeinerungen warnen, als wir gerade in dem noch am besten erhellten Gebiete mit ganz bestimmten, sehr individuell gearteten Verhältnissen zu rechnen haben? Um diese Behauptung zu erhärten, brauchen wir ja nur darauf hinzuweisen, daß die Zustände in unserem Gebiet genetisch durch ein verhältnismäßig junges Wüstengebiet, durch ebenso junge, ihre Gestalt häufig wechselnde Mittelmeere, durch ein sehr junges Faltengebirge und die noch gar nicht weit zurückliegenden Erscheinungen der Eiszeit bedingt und beeinflusst wurden, während auch klimatologisch gerade hier durch das Durcheinander von Land und Wasser ganz individuelle Zustände hervorgerufen wurden, die sich nicht nur in der Geschichte der Menschheit widerspiegeln.

Dadurch aber, daß selbst dieser kleine Raum bei *von Lucanus* nicht voll zur Geltung kommt, gelangen wir mitunter zu schiefen Vorstellungen. So hätte z. B. auf Karte 4 unbedingt die pontische Zugstraße eingetragen werden müssen, die Jahr für Jahr Tausende großer Räuber und zahllose Kleinvögel über den Bosphorus nach Asien führt.

Sehr richtig dünkt es uns dagegen, daß *von Lucanus* immer wieder hervorgehoben hat, daß gerade das Zugphänomen bei jeder Vogelart besonders behandelt werden muß. Es ergibt sich daraus das zwiespältige Verhältnis, daß wir es bei der Betrachtung des Gesamtphänomens auch mit der Erdoberfläche in einheitlichem, planetarischem Sinne zu tun haben, bei den einzelnen Arten dagegen nur mit einer einzigen, unter Um-

ständen gar nicht allzu langen Linie. Vermutlich werden noch Jahrhunderte vergehen, bis wir in den Stand gesetzt sind, auch nur die Mehrzahl von diesen einem übergeordneten Begriffskreise völlig einwandfrei einzuordnen. Hierbei möchte ich gleich zur Erörterung stellen, ob es sich nicht ganz besonders verlohnte, zu zahlreichen Ringversuchen mit solchen Jungvögeln zu schreiten, deren Fortpflanzungsgeschäft ganz außer den Rahmen des Herkömmlichen fällt, wie das etwa für *Oculus canorus* L. zutrifft. Aller Wahrscheinlichkeit nach dürfte uns auch der Verlauf des winterlichen Zuges hier manche Überraschung bereiten.

Kaum ein anderes Werk könnte den Sieg des Gedankens, daß sich der allergrößte Teil der tierischen Handlungen unter der Bewußtseinschwelle abspielt (*Altums* Wort: animal nun agit, sed agitur), so lichtvoll und überwältigend darstellen wie gerade die Behandlung des Vogelzugs. Wo bliebe diesem Erfahrungskreise gegenüber die wissenschaftliche Weltauffassung jener Biologen aus unserer Väter Tagen, die, während sie sich doch laut zum Materialismus bekannten, in rein ideologischem Anthropomorphismus schier Unglaubliches leisteten? —

Eine andere Erkenntnis, die sich bei der geistigen Verarbeitung unseres Buches dem Leser aufdrängt, ist die, daß gerade hier der Ornithologe gründlichen erdkundlichen Wissens und geschulten biogeographischen Denkens nicht entraten kann. Ob der Verfasser auch darüber in genügendem Maße verfügte? — Wenn dieser Zweifel einen Vorwurf bedeutet, gilt der aber sicherlich nur in dem leidigen Sinne, daß wir Menschen schlechterdings außerstande sind, solche Begriffskreise allseitig zu behandeln. Wie leidvoll kommt es mir nicht selber immer wieder zum Bewußtsein, daß der Vogelkundler auch eine sehr gründliche biochemische und physikalische Vorbildung besitzen sollte! „Die Kunst ist lang, und kurz ist unser Leben!“ Man braucht nicht unbedingt schwungloser Pedant zu sein, um diesem entsagungsvollen Wort des kümmerlichen Famulus unseres Dr. Faust beizupflichten.

Um die hohe Bedeutung des geographischen Moments recht zu würdigen, darf man sich nur zu vergegenwärtigen, wie wohl die Zuglinie nordamerikanischer Zugvögel aussehen würde, wenn man die zur Sommerszeit in Mitteleuropa aussetzte. Wäre uns eine solche Zuglinie bekannt, so möchte uns erst klar werden, daß bei dem Zuge jeder Vogelart die unbewußte erdkundliche Erfahrung vieler tausend Generationen mitspielt.

Sehr große Beachtung verdient auch das, was wir von der herbstlichen Reise der beiden vereinzelt ziehenden Jungstörche hören, die auf ganz anderem Wege als ihre Artgenossen gen Süden streben. Gerade um solcher Erfahrungen willen sollten wir dem Kapitel „Zug und Geselligkeit“ erhöhte Beachtung zuwenden. Jene Erscheinun-

gen, die ich auf Triebkorrektur durch Vergesellschaftung zurückführte, dürften gerade bei dem Vogelzug eine sehr große Rolle spielen. Nicht zum wenigsten auf diesen Einfluß werden wir es zurückführen müssen, daß man auch in Europa noch immer wenigstens bedingungsweise bei den meisten Arten von Zugstraßen sprechen darf. Hierher gehört auch die Erfahrung, daß europäische Vogelarten, die in Übersee ausgesetzt und eingebürgert wurden, sich dort nie zu richtigen Strichvögeln zu entwickeln scheinen, sondern ihren Nahrungsspielraum nur dadurch erweitern, daß sie immer größere Flächen besetzen, auf denen sie die Eigenschaften von Standvögeln zeigen. So macht auch hier nur das den Eindruck ungebrochener Natürlichkeit, was dauernd in völlig organischer Weise in das Gesamtleben der Natur eingeschaltet bleibt; wird aber der ruhige Gang der Entwicklung irgendwie unterbrochen, so ergeben sich Verhältnisse, die unbeschadet der Lebensfähigkeit mancher Arten auf den tiefer blickenden Forscher doch den Eindruck des Zufälligen und Anarchischen machen müssen.

Des näheren geht *v. Lucanus* auch auf meine Ansicht ein, daß wir die Heimat unserer Zugvögel in südlichen Breiten zu suchen haben. Seine Ausführungen erwecken den Eindruck, daß er mich nicht richtig verstanden hat, obgleich ich s. Z. die sehr bedingte Geltung des Begriffs Heimat in dem Zusammenhang meiner Gedankengänge ausführlich hervorhob.

Die Suche nach der letztlichen „Heimat“ vieler Vogelarten erscheint ganz und gar aussichtslos und verführt nur zu Theorien, die sich, wie die Ansicht *Gräfers*, in der Wesenlosigkeit erträumer Zeitalter verlieren. Ich suchte damals nach einem Zeitpunkt, von dem auszugehen bei der Besprechung des Vogelzuges am zweckmäßigsten sein dürfte, und glaubte diesen Zeitpunkt, was mich anging, bei der größten Entfaltung jener erdgeschichtlichen Vorgänge gefunden zu haben, die der Geologe unter dem Begriff der Eiszeit zusammenfaßt. So möchte ich denn auch nach wie vor bei meiner Meinung verharren, wir täten am besten, bei der Besprechung der uns hier angehenden Erscheinungen das Hauptgewicht auf den Frühlings- und nicht auf den Herbstzug zu legen. Ist es nicht bemerkenswert genug, daß in den Fällen, wo Frühlings- und Herbstzug auf verschiedenen Wegen vor sich gehen, jener zumeist in der alten Form der Durchwanderung älterer Verbreitungsgebiete im Palmenschen Sinne geschieht, während der Herbstzug eine stark vereinfachte Richtung zu zeigen pflegt? (siehe das, was *Cooke* über die Entwicklung des Wanderzugs von *Charadrius dominicus dominicus* St. Müll. und *Charadrius dominicus fulvus* Reichenow sagt! Abbildungen der Cookschen Kärtchen übrigens auch bei *Hesse* u. *Doflein*, Tierbau und Tierleben Bd. II, 542 ff).

Scheint nicht die Feststellung, daß männliche und weibliche Tiere einerseits, geschlechtsreife



und geschlechtlich neutrale andererseits sich hinsichtlich des Zuges ganz verschieden verhalten, dafür zu sprechen, daß dies Benehmen auf Gründe zurückgeführt werden muß, die mit dem Geschlechtsleben zusammenhängen? — Dafür spricht ja auch die Tatsache, daß solche Vögel, die in einem Jahre nicht zur Fortpflanzung schritten, ihr Brutgebiet viel früher verlassen als die anderen Artgenossen. Betrachten wir diese Erscheinung unter dem Gesichtspunkt Herbstzug und Nahrungsmangel, so können wir mit ihr nicht viel anfangen, dagegen ist sie logisch wohl eingeschaltet, wenn wir sie zu dem Fortpflanzungsgeschäft in Beziehung setzen. Auch der Umstand, daß bei manchen Arten die jungen Vögel so frühzeitig fortziehen, erscheint uns begrifflich viel besser eingeordnet, wenn wir ihn auf jene Zeit beziehen, da auch die Aufenthaltsdauer der alten Vögel in dem nordischen Brutrevier noch viel kürzer war. Zuletzt möchten wir im Zusammenhang mit diesen Dingen auch noch darauf hinweisen, daß solche Exemplare von Zugvogelarten, die zuerst in Gebiete polwärts des schon von der Art besiedelten Erdraums vordringen, logischerweise alte Männchen sein müßten. Ich weiß nicht, ob die Erfahrungen (*Hirundo rustica* L. im äußersten Norden Europas? —) dieser rein logischen Feststellung entsprechen.

Daß während der Eiszeit, während dieses Abschnitts, an den ich mich damals ausdrücklich band, die Heimat unserer Zugvogelarten in meinem heimatlichen Norddeutschland zu suchen gewesen sei, erscheint mir ganz ausgeschlossen. Damals, als selbst die unter 50° 52' n. Br. gelegene *Lysa Gora* einen Nunatak nach der Art der kahlen grönländischen Inlandberge darstellte, als die Last der vielleicht 1000 m dicken Eisdecke in Norddeutschland die tertiäre Unterlage stauchend emportrieb, in diesem Erdraum größere Gebiete suchen zu wollen, die als Brutreviere der *Sylvianae*, *Laniidae*, *Hirundinidae* u. a. m. in Frage gekommen wären, erscheint mir ziemlich widersinnig. Eine absolute „Heimat“ der einzelnen Zugvogelarten zu entdecken, habe ich aber noch weniger Hoffnung. Und selbst damit wäre uns wenig gedient, vermöchten wir sie nicht paläoklimatisch zutreffend einzuordnen und die Genesis der betreffenden Arten von damals bis heute klar zu überschauen. Ob wir uns jemals zu einer so intensiven Kenntnis der Geschichte unserer Gäobiologie durcharbeiten werden? —

Erdkundliche Gesichtspunkte scheinen auch bei vielen anderen Fragen Berücksichtigung zu erheischen. Wie sollte es nicht gerade den Erdkundigen näher angehen, wenn *Reichenow* seine Gedanken bei der Tatsache verweilen läßt, daß in dem Vogelzuge (in Eurasien wohlgemerkt!) derselbe „Zug nach Westen“ hervortrete, der bei den Völkerwanderungen der Menschen unverkennbar scheint? Ob man nicht darin hier wie da das Streben (unter der Bewußtseinsschwelle gedacht) der beweglichen Organismen erblicken sollte (nach

einer Klimaverschlechterung?), aus dem Herrschbereich des kontinentalen Klimas, das in seiner schroffsten Eigenart geradezu lebensfeindlich wird, in die wohllichere Welt ozeanischer Lüfte überzusiedeln? Außerdem braucht man nur eine physikalische Karte Eurasiens aufzuschlagen, um durch die Feststellung, daß der Nordrand des asiatischen Gebirgslandes (zu einem sehr großen Teil ist das im biologischen Hinsicht fast als Unland zu bezeichnen) vom Südufer des Kaspischen Meeres bis zur Beeringstraße in nordöstlicher Richtung von 37° n. Br. zum Polarkreis streicht, darauf geführt zu werden, wie nahe gerade hier ein westliches Ausweichen liegt. In ähnlicher Weise wird der Erdkundige auch durch den Verlauf der europäischen Zugstraßen zu der Annahme geführt, für ihre Richtung sei schließlich das mächtige Bergland Nordwestafrikas verantwortlich zu machen, das in früherer Zeit noch mehr als heute im Gegensatz zur Wüste einen mächtigen Regenfang darstellte, der einem weiten Gebiet günstigere Lebensbedingungen bescherte. Selbst die Erfahrung, daß der Vogelzug so vielfach an den Meeresküsten klebt, reizt den Erdkundigen zu mancherlei Gedanken; denn abgesehen davon, daß der sinnlichen Greifbarkeit der Küstenlinie (Vögel sind Augentiere) eine große wegweisende Kraft entsprechen mag, werden manche Zuglinien an Europas Mittelmeeren, die heute litorales Gepräge haben, zu Kontinentalstraßen diagonalen Art, wenn wir die Verhältnisse weiter zurückliegender Erdperioden ins Auge fassen. Doch diese zeitliche Ferne vergrämt uns auch hier.

Wenn *von Lucanus* meint, meine Ansicht, die Vogelarten brauchten gerade zur Brutzeit einen größeren Spielraum, sei unlogisch, wenn er diese meine Meinung mit dem Hinweis darauf abtun will, daß Vogelschutzgebiete öfters eine geradezu unglaubliche Anzahl von Brutvögeln beherbergen, so sieht er nicht, wohin meine Worte zielen. Es wird ihm bereits klarer werden, wenn ich darauf hinweise, welche Mengen von Vögeln in harten Winterwochen im Weichbilde einer Kleinstadt zusammenströmen. Welch winziger Raum beherbergt sie dann, und auf wie weiter Fläche haben sie sich drei Monate später zerstreut!

Von entscheidender Bedeutung ist hier aber ein anderer Gedankengang. Das ungeheure Wüstengebiet der Sahara ist erst eine verhältnismäßig junge Bildung, wie die Knochen der Wassertiere erweisen, die wir den Betten der Wadis, ihrer trocken gefallen Wasserläufe, entnehmen. Sollte es nicht logisch sein, daraus zu schließen, daß dereinst ihre ganze Fläche bewohnbar war, und daß der Übergang zu neuen Verhältnissen damit begann, daß zeitweise ein von Jahrhundert zu Jahrhundert wachsender Raum in ihrer Mitte, der den Einflüssen, welche die künftige Wüste bereits vorbereiteten, am meisten ausgesetzt war, für alle Organismen unbewohnbar wurde, welche diesen schädlichen Einflüssen nicht durch beson-

dere Hilfsmittel (Trockenschlaf; Flucht durch der Beine oder Flügel Kraft) entgehen könnten? So mag ein Oszillieren dieses Gebietes begonnen haben, das beim Nordwinter Feuchtigkeit in sich sog, aber dafür am Rande durch Kältewirkung unwirksam wurde, während im Sommer seine grüne Fläche sich mächtig ausdehnte, gleichzeitig aber in der Mitte ein steppendürre, schließlich gar wüstenkahler Raum hervortrat. Ob Vorgänge, wie der eben geschilderte bei der Entwicklung des Vogelzugs gerade in dem Erdraum, auf den sich unsere eingehende Forschung und auch das Buch v. *Lucanus* bezieht, nicht eine sehr große Rolle gespielt haben sollten?

Ich selber durfte Vogelzugerscheinungen fast ausschließlich am Bosphorus beobachten, wo sie sich sehr schematisch vollziehen, weil man es dort eigentlich nur mit Nord- und Südwinden zu tun hat. Gerade an dieser Erdstelle tritt daher die Abhängigkeit des Zuges von der Windrichtung besonders klar hervor, so klar, daß damit nicht etwa nur der grübelnde Forscher rechnet, sondern vor allem auch der berufsmäßige Vogelfänger, den Enttäuschungen um seinen täglichen Pillaw bringen. Ich beging früher den Fehler, jene örtlichen Verhältnisse, welche den Zugvogel beim Zuge wie auch während des Winteraufenthaltes als willenloses Objekt meteorologischer Vorgänge zeigen, vorschnell zu verallgemeinern. Heute muß ich bedingungslos zugeben, daß dies nicht zulässig war. Mit dem Standpunkt jener Forscher, die jeden Einfluß des Meteorologischen auf das Zugphänomen in Abrede stellen wollen, vermag ich mich jedoch auch heute noch nicht auszusöhnen. Der Hinweis, wie rasch an einer auf dem Zuge berührten Örtlichkeit, einem Passe, einem Alpental, einer Nehrung die Windrichtung wechselt, ist gar nichts getan. Das sind beiläufige Wesenlosigkeiten; entscheidend wäre nur die Gesamtlage der meteorologischen Verhältnisse bei dem Aufbruch des Zugvogels.

Die Verschiebungen in der Zeit des herbstlichen Aufbruchs lassen sich ohne logische Gewaltbarkeit durch den verschiedenen Verlauf des Brutgeschäftes in den einzelnen Jahren erklären, der seinerseits wieder durch Witterungsunterschiede bedingt ist. Wie aber sollte sich die Zeitspannung bei dem Frühlingszug erklären? Die Witterungsverhältnisse im Brutgebiet sind darauf erfahrungsgemäß letzten Endes ohne jeglichen Einfluß. Wäre es so fernliegend, wenn wir den entscheidenden Einfluß in den meteorologischen Verhältnissen der Gebiete suchten, die den Vogelarten als Winteraufenthalt dienen?

Dem denkenden Forscher begegnen wir wieder, wenn von *Lucanus* darauf hinweist, wie wir auch durch die Erscheinungen des Vogelzugs an das biogenetische Grundgesetz erinnert werden, wenn wir sehen, daß sich die jungen Amseln (*Turdus merula* L.) auch in solchen Gebieten noch recht frühzeitig auf die Wanderschaft

machen, wo ihre älteren Artgenossen schon längst zu Standvögeln geworden sind.

Schon diese kurzen Ausführungen werden zur Genüge zeigen, welche Fülle von Gedanken das treffliche Werk des Vorsitzenden der Deutschen Ornithologischen Gesellschaft im Geiste der Fachgenossen wachruft. So bin ich denn überzeugt, daß ich mich auch in Zukunft noch manch liebes Mal mit dieser Gabe des Berliner Ornithologen beschäftigen werde. Es dürfte aber wohl nie geschehen, ohne daß ich sie mit dem Gefühl aufrichtiger Anerkennung aus der Hand legte.

## Besprechungen.

**Grafe, V., Chemie der Pflanzenzelle.** Berlin, Gebr. Bornträger, 1922. VIII, 420 S. und 37 Abb. Preis M. 105,—.

Das Buch gibt eine recht persönlich gefärbte Darstellung der Pflanzenchemie mit Voranstellung der physikalisch-chemischen, besonders der kolloidchemischen Betrachtungsweise. Im Vorwort wird es als Lehrbuch bezeichnet. Für Anfänger dürfte es aber wegen der großen Stofffülle kaum geeignet sein. Jedoch wirkt es durch die Heranziehung teilweise weniger bekannter, auch ausländischer Literatur bis in die neueste Zeit hinein recht anregend.

Der Inhalt umfaßt: Die chemisch-physikalischen Gesetze des Zellgeschehens, Licht und Wärme als Energiefaktoren, Die Zellwand, Das Protoplasma, Dynamische Chemie. Diese Aufzählung der Hauptteile des Buches spiegelt den Mangel an einheitlicher Gliederung wieder, der neben mancherlei Ungenauigkeiten im einzelnen die genügende Durcharbeitung vermissen läßt, so daß die aufgewendete Arbeit des vielbelesenen Verfassers nicht ganz die erwünschten Früchte gebracht hat. E. G. Pringsheim, Berlin-Dahlem.

**Wolterstorff, W., Die Molche Deutschlands und ihre Pflege.** Biolog. Arbeit. Heft 13. Freiburg i. Br., Th. Fisher, 1921. Preis M. 5,—.

In diesem Hefte der Fisherschen Sammlung hat der bekannte Herpetologe seine langjährigen Arbeiten und Versuche auf dem Gebiete der Urodelsystematik, -biologie und -pflege zusammengefaßt. Das Buch ist zwar im allgemeinen für den Anfänger bestimmt, aber auch für den, der sich mit experimentellen Arbeiten an diesen Tieren beschäftigt, bringt es viel Wissenswertes und auch Neues, da *Wolterstorff* seine überaus reichen Erfahrungen meist in Zeitschriftenartikeln niedergelegt hat, die leider recht unbekannt geblieben sind. Besonders hervorzuheben ist die Schilderung der überaus einfachen Hilfsmittel, mit denen *Wolterstorff* arbeitet und die ihm fast nie Mißerfolge gebracht haben. Es wäre zu wünschen, daß in unserer an Hilfsmitteln so armen Zeit dadurch Anregungen gegeben würden, mit dieser recht vernachlässigten und doch noch viele zu lösende Probleme aufweisenden Tiergruppe sich näher zu beschäftigen. Der Text wird durch 22 meist nach photographischen Naturaufnahmen gefertigte Abbildungen wirksam unterstützt.

Dem Werkchen ist weiteste Verbreitung zu wünschen, zumal *Wolterstorffs* schon lange geplantes großes Urodelenwerk infolge der Ungunst der Zeit noch lange wird auf sich warten lassen müssen.

H. L. Honigmann, Magdeburg.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von

**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1922 by Julius Springer in Berlin.

Heft 26. (Seite 569—584.)

30. Juni 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie. Von *C. Pulfrich*, Jena. (Mit 2 Abbildungen.) S. 569. (Fortsetzung.)  
Die Grundfragen der Pflanzensoziologie. Von *Walther Wangerin*, Danzig-Langfuhr. S. 574.  
Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin: Das Leben der Wüste in Südwestafrika. Die jüngsten

Hebungen der Alpen. Der augenblickliche Zustand unserer Kolonien. Der spanische Nationalcharakter in seinen Beziehungen zum Wirtschaftsleben. S. 582.

Astronomische Mitteilungen. S. 584.  
Introduction to Stellar Statistics.



# GOERZ

*Largon-Brillengläser*

Bezug durch die Optiker. \* Druckschriften kostenfrei

**Optische Anstalt C. P. Goerz A.-G. Berlin-Friedenau 91.**

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 100.— für das dritte Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 6.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 9.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.

Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20120 Julius Springer,  
Konten: für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

### Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

**J. D. Möller, Wedel in Holstein.**  
Gegründet 1864. (250)

### Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu kaufen gesucht. Angebote unter  
Nw. 236 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

C. W. KREIDEL'S VERLAG IN BERLIN W 9

**Fritz Sarasin & Jean Roux**

# Nova Caledonia

Forschungen  
in Neu-Caledonien und  
auf den Loyalty-Inseln

Recherches scientifiques  
en Nouvelle-Calédonie  
et aux Iles Loyalty

B.  
Botanik  
Redaktion

B.  
Botanique  
Rédaction

**Hans Schinz & A. Guillaumin**

(Zürich)

(Paris)

Vol. I L. III: Tafel VII—VIII. (312 S.) 1921.

In Mappe 90.— \*

Vol. I L. II: Tafel V—VI. (176 S.) 1920.

In Mappe 60.— \*

Vol. I L. I: Tafel I—IV. (86 S.) 1914.

In Mappe 14.— \*

\* HIERZU TEUERUNGZUSCHLAG



## Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie<sup>1)</sup>.

Von C. Pulfrich, Jena.

(Fortsetzung.)

### 6. Einige bekannte Erscheinungen und Versuche, die die Abhängigkeit der Zeitdifferenz zwischen Lichtreiz und Empfindung von der Stärke des Lichtreizes dartun.

Daß ein auf die Netzhaut ausgeübter Lichtreiz Zeit braucht, ehe er im Gehirn zum Bewußtsein des Beobachters gelangt, bedarf keiner besonderen Begründung. Das ist mit allen Nervenreizen so, von welcher Stelle des Nervensystems der Reiz auch ausgehen mag. Wie und wo dieser Zeitverlust hauptsächlich zustande kommt, ob an der Reizstelle, auf der Nervenbahn oder im Gehirn auf dem Wege zum Bewußtsein, läßt sich wohl schwerlich entscheiden. Der Zeitverlust ist da, und er wird noch größer, wenn die bewußte Empfindung im Gehirn sich zu einer bestimmten Vorstellung entwickeln soll, wenn also z. B. das vom Ohr aufgenommene gesprochene Wort nicht nur eine Lautempfindung, sondern auch bestimmte Gedanken erwecken soll. Auch weiß man, daß gerade der hierdurch hervorgerufene Zeitverlust bei manchen Personen mit sog. „langer Leitung“ nicht unbeträchtliche Werte annehmen kann.

Ich werde im folgenden an einigen mehr oder weniger allgemein bekannten optischen Erscheinungen zeigen, wie sich dieser Zeitverlust zwischen Reiz und Empfindung und seine Abhängigkeit von der Stärke des Lichtreizes kundtut.

Eine Beobachtung, die wohl jeder schon oft an sich selbst gemacht hat, ist die, daß man bei schlechter Beleuchtung nicht so gut in einem Buche lesen kann wie bei voller Tageslichtbeleuchtung. Gewiß wird dieser Mangel in erster Linie durch die geringere Sehschärfe der Augen bei schlechter Beleuchtung hervorgerufen. Aber das ist nicht die einzige Ursache. Es kommt auch der Umstand in Anrechnung, daß bei dem schnellen Hinweggleiten der Augen über die einzelnen Buchstaben und Worte die Empfindung nicht so schnell dem Lichtreiz auf der Netzhaut nachfolgen kann, wie das bei voller Beleuchtung der Fall ist. Beim Lesen empfindet man diesen Unterschied in der Beobachtung nicht in dem Maße, daß ein Lesen unmöglich erscheint. Will

man aber im Dämmerlicht nach unbekannten Noten Klavier spielen, so muß man bald aufhören, denn der Klavierspieler ist gezwungen, in der zeitlichen Aufeinanderfolge der Töne bestimmte stets wechselnde Zeitintervalle einzuhalten, die hinsichtlich ihrer Größenordnung nicht allzuweit entfernt sind von den bei schwachen Lichtreizen vorkommenden Zeitintervallen zwischen Erregung und Empfindung.

Die Zeitdifferenz zwischen Erregung und Empfindung spielt auch in der *Astronomie* bei der Beobachtung von Sterndurchgängen durch die Meßfäden des Meridianinstrumentes, welche Durchgänge vom Beobachter durch Herabdrücken eines Stiftes auf einen gleichmäßig sich bewegenden Papierstreifen registriert werden, als sog. „*persönliche Gleichung*“ eine wichtige Rolle, und man weiß auch, daß diese in Rechnung zu stellende Korrektur als sog. „*Helligkeitsgleichung*“ abhängig ist von der Helligkeit der Sterne und von der Geschwindigkeit — diese am größten am Himmelsäquator —, mit der die Sterne durch das Gesichtsfeld des Fernrohres hindurchgehen, so daß man bei dem Anschluß ungleich heller Sterne vorzieht, diese Korrektur zu umgehen dadurch, daß man durch Blenden vor dem Objektiv die Helligkeit des helleren Sternes auf die des schwächeren herabdrückt.

Einen für unser Verfahren ganz eindeutigen und von der Willensbetätigung des Beobachters ganz unabhängigen *ad oculos-Beweis* für die Abhängigkeit der Zeitdauer zwischen Lichtreiz und Empfindung von der Stärke des Lichtreizes bringt folgender Versuch. Man zündet nach Verdunkelung des Saales vor dem unteren Ende des Projektionsschirmes eine elektrische, nach dem Zuschauerraum mit einer Blende versehene Lampe an. Die Zuschauer werden dann, indem sie weniger auf die Lampe, sondern mehr auf den Schirm achten, den Eindruck erhalten, als breite sich das Licht nach oben auf dem Schirme aus, gleichsam als fliehe die Dunkelheit vor der Helle. Diese unter dem Namen der *fortlaufenden Schatten* längst bekannte Erscheinung hat mit der zeitlichen Ausbreitung des Lichtes nichts zu tun. Denn die Lichtausbreitung erfolgt mit einer Geschwindigkeit von 300 000 km in der Sekunde, und ebenso schnell kommt von allen Teilen des Schirmes das reflektierte Licht auf der Netzhaut an. Wohl aber nimmt die Stärke der Beleuchtung des Schirmes sehr schnell von unten nach oben ab, und so entsteht, da die stärkeren Lichtreize früher zum Bewußtsein gelangen als die schwächeren, der Eindruck einer zeitlichen Ausbreitung des Lichtes.

<sup>1)</sup> Im Auszuge vorgetragen auf dem Physikertage in Jena am 21. IX. 1921.

Auch eine in der Praxis der Photometrie bekannte Erscheinung verdient hier erwähnt zu werden. Wenn man nämlich die miteinander zu vergleichenden, in scharfer Trennungslinie aneinanderstoßenden Felder im Gesichtsfeld eines Photometers unter einem Momentverschluß dem Anblick des Beobachters entzieht und dann den Verschluß öffnet und gleich darauf wieder verschließt, so gelangt die eine Hälfte des Gesichtsfeldes mit der größeren Helligkeit etwas *früher* zur *Perzeption* als die andere. Die Folge davon ist, daß der Helligkeitsunterschied stärker in die Erscheinung tritt als er in Wirklichkeit ist, ein Umstand, der der Einstellungsgenauigkeit zugute kommt.

Sehr wahrscheinlich erklärt sich in gleicher Weise auch die von Arogo gemachte und von Helmholtz (Phys. Opt., II. Aufl., S. 264, 347 und 386) bestätigte Beobachtung, daß man beim Bewegen eines Objektes vor dem ruhenden Auge oder, was dasselbe ist, beim Hinweggleiten der Blickrichtung über das ruhende Objekt noch Helligkeitsunterschiede (bis auf  $\frac{1}{131}$  herab statt  $\frac{1}{100}$ ) erkennen kann, die man bei relativer Ruhe von Auge und Objekt nicht sieht. Damit ist unserer auf die Beobachtung einer bewegten Marke sich gründenden stereophotometrischen Methode ein günstiges Prognostikum gestellt, das auch im großen und ganzen durch die bisherigen Untersuchungen bestätigt wird.

#### 7. Den Vorgängen im beidäugigen Sehen analoge

##### Vorgänge bei Tonempfindungen im beidöhrigen

##### Hören.

Im Jahre 1886 hielt auf der Naturforscherversammlung in Wiesbaden ein Herr in einer der Sitzungen der physikalischen Sektion einen Vortrag „über das stereoskopische Hören“, mit dem Erfolg, daß die Sitzung ein vorzeitiges Ende nahm. Man hat den Herrn nicht für ernst genommen, ob mit Recht oder Unrecht, kann ich jetzt nicht mehr sagen, da mir der Inhalt des Vortrages nicht in Erinnerung geblieben ist.

Mit dem beidäugigen Sehen ist das binaurale Hören natürlich nicht auf die gleiche Stufe zu stellen. Denn das beidäugige Sehen gibt innerhalb des stereoskopischen Sehbereichs einen unmittelbaren Aufschluß über das Neben- und Hintereinander der uns umgebenden sichtbaren Dinge, während es sich bei dem beidöhrigen Hören nur um die unmittelbare Wahrnehmung der Schallrichtung handelt. Auch ist die Genauigkeit der Richtungsbestimmung sehr gering im Vergleich zu der visuellen Richtungsbestimmung. Nach einer vor kurzem in den „Naturwissenschaften“ X, S. 107, 1922, erschienenen sehr interessanten Abhandlung von H. Hecht, Kiel, „Über die Lokalisation von Schallquellen“ beträgt die Unsicherheit in der binauralen Richtungsbestimmung für eine in der Sagittalebene des Beobachters ankommende Schallwelle  $\pm 3^\circ$ , das ist ungefähr das 400fache der optischen Unsicherheit.

Kommt die Schallwelle aus einer Richtung,

die mehr als  $3^\circ$  von der Sagittalebene des Beobachters abweicht, so ist die Unsicherheit in der Richtungsbestimmung noch viel größer und erreicht ihr Maximum (nach Hecht  $\pm 15^\circ$ ), wenn die Schallwelle mehr oder weniger senkrecht zur Sagittalebene verläuft. Während von der in der Sagittalebene verlaufenden Schallwelle die beiden Ohren des Beobachters zu der gleichen Zeit erreicht werden und das Trommelfell auf beiden Ohren in gleicher Stärke erregt wird, ist das für eine von der Seite ankommende Schallwelle nicht mehr der Fall. Denn jetzt wird das der Schallwelle zugewandte Ohr nicht allein *früher* von der Schallwelle erreicht, es wird auch *stärker* erregt als das andere, einmal deshalb, weil die Ohrmuschel des der Schallquelle zugewandten Ohres in ihrer Eigenschaft als Schallverstärker besser zur Geltung kommt, dann aber auch deshalb, weil das andere Ohr mit zunehmender Neigung der Schallrichtung zur Sagittalebene immer mehr in den Schallschatten des Kopfes tritt. Auch ist der hierdurch hervorgerufene Unterschied in der Stärke der Erregung des Trommelfells noch abhängig von der Tonhöhe, da mit der Höhe des Tones der Schallschatten immer wirksamer wird.

Übertragen wir unsere beim Auge gemachten Erfahrungen — so wie das die Herren H. Carsten und H. Salinger vor kurzem in einer in den „Naturwissenschaften“ S. 329 veröffentlichten Besprechung der Hechtschen Arbeit unter Bezugnahme auf meinen Jenaer Vortrag bereits getan haben — auf das Ohr, so müssen wir sagen, daß das vorgehaltene Ohr den Schall *früher empfindet* als das andere Ohr, *nicht allein deshalb*, weil der Weg zu ihm kürzer ist als zum anderen, sondern auch deshalb, und ich füge hinzu, vielleicht hauptsächlich deshalb, weil auch hier der stärkeren Erregung die Empfindung schneller folgt als der schwächeren.

Das Verfahren, durch beidöhriges Hören die Richtung einer ankommenden Schallwelle zu bestimmen, hat im Kriege vielfach praktische Verwendung gefunden. Ich erwähne hier nur die sog. *Schallweiser*, die bei den Schallmeßtruppen im Gebrauch waren. Bei diesem auf eine horizontale Drehscheibe mit Teilkreis gesetzten Apparat war der natürliche Ohrenabstand durch seitlich aufgestellte Schallaufnehmer auf ein bestimmtes Vielfaches gebracht, wodurch die Genauigkeit der Richtungsbestimmung entsprechend gesteigert wird. Es ist mir mitgeteilt worden, daß die Angaben einzelner Beobachter oft ganz erheblich — bis zu  $20^\circ$  — voneinander abweichen, bis man dazu übergang, jede Messung zu wiederholen in der Weise, daß man die zu den Ohren führenden Hörschläuche vertauschte und dann aus beiden Messungen das Mittel nahm.

Offenbar rühren diese Abweichungen daher, daß die beiden Ohren des Beobachters nicht die gleiche Hörschärfe haben, so daß selbst bei gleichzeitiger und gleichstarker Erregung des Trommelfells in beiden Ohren die Überleitung zum Gehirn in dem schwächeren Ohr längere Zeit in



Anspruch nimmt, als in dem anderen, normalhörigen Ohr. Es wiederholt sich also hier der gleiche Vorgang, den wir oben (S. 329) bei Beobachtern mit ungleicher Sehschärfe auf beiden Augen festgestellt haben. Indem der mit einem solchen Defekt behaftete Beobachter am Schallmeßgerät den Apparat nach der Seite dreht, auf der das normalhörige Ohr gelegen ist, gibt er dem schwächeren Ohr einen zeitlichen Vorsprung in der Aufnahme der alsdann schräg zur „Standlinie“ ankommenden Schallwelle, und bewirkt damit in einer bestimmten Stellung des Apparates, daß die Zeitdifferenz der beiden Empfindungen verschwindet. Vertauscht man die beiden Hörschläuche, so muß derselbe Beobachter den Apparat jetzt um den gleichen Winkel nach der anderen Seite drehen, um wieder Gleichzeitigkeit der Empfindungen herbeizuführen. Das Mittel der beiden Einstellungen muß also im großen und ganzen mit der Schallrichtung übereinstimmen.

Ich habe von diesen Überlegungen kürzlich folgende Nutzenanwendung gemacht. Ich bin auf dem linken Ohr etwas schwerhörig, besonders stark für die hohen Töne, auf dem rechten Ohr normalhörig. Bei mir ist daher, selbst bei gleichzeitiger Erregung des Trommelfells beider Ohren, eine Zeitdifferenz der Tonempfindungen sicher vorhanden<sup>1)</sup>. Infolgedessen habe ich seit einer Reihe von Jahren mit der Schwierigkeit zu kämpfen, in Konzerten die von Sängerinnen gesungenen Worte zu verstehen. Ich habe mir in solchen Fällen bisher so geholfen, wie das wohl auch andere tun, daß ich das normale Ohr vorgehielt, um besser verstehen zu können. Neuerdings habe ich, gestützt auf die vorstehenden Überlegungen, einen anderen Weg eingeschlagen, den ich anderen Leidensgefährten zur Prüfung und zur Nachahmung empfehlen möchte. Ich habe meinen Kopf nach rechts gedreht, die Ohrmuschel des linken Ohres durch Anlegen der linken offenen Hand vergrößert, und war überrascht, jetzt alles viel besser verstehen zu können. Bei diesem Versuch hatte ich unmittelbar hinter mir eine Wand, die für das rechte im Schallschatten des Kopfes liegende Ohr als Reflektor und damit als Wegverlängerer für die beim rechten Ohr wirksame Schallwelle diente.

#### 8. Die zu einer Gesichtswahrnehmung nötige Zeit und die Art des Anstieges der Lichtempfindung.

Während die vorstehend angeführten Argumente nur dazu dienen, den Nachweis der Ab-

<sup>1)</sup> Setze ich mich auf einen Drehschemel in meinem Wohnzimmer der laut tickenden Wanduhr gegenüber, schließe die Augen und suche die Richtung auf, aus der der Schall zu kommen scheint, so weicht die so gefundene Richtung immer nach rechts um ca.  $10^\circ$  ab. Verstärke ich die das linke Ohr treffende Schallwelle durch die hinter das linke Ohr gehaltene hohle linke Hand und wiederhole den Versuch, so fällt die gefundene Schallrichtung sehr nahe mit der wahren zusammen. Halte ich hinter das rechte Ohr die hohle Hand, so wird die Abweichung nach rechts erheblich größer als  $10^\circ$ .

hängigkeit der Zeitdifferenz zwischen Reiz und Empfindung von der Stärke des Reizes zu bringen, sind wir durch die Untersuchungen und Messungen, welche der jetzt noch lebende Wiener Physiologe, Herr Prof. *Sigmund Exner*, in jungen Jahren unter Leitung von *Helmholtz* im physiologischen Institut in Heidelberg ausgeführt hat, auch über die zu einer Gesichtswahrnehmung nötige Zeit und die Art des Anstieges der Lichtempfindung auf das genaueste unterrichtet. Die Arbeit ist in den Sitz-Ber. der Wiener Akad. d. Wiss. Bd. 58, 1868, erschienen, und *Helmholtz* hat darüber in seiner Physiologischen Optik, II. Aufl., S. 575, ausführlich berichtet. In der III. Auflage ist dieser Bericht ganz in Wegfall gekommen. In Anbetracht der großen Bedeutung dieser Untersuchungen für unsere Methode möchte ich daher im folgenden über die von *Sigmund Exner* benutzte Methode und die von ihm erhaltenen Resultate kurz referieren.

Zunächst die Methode. *Exner* benutzt zwei Scheiben, die in einigem Abstand hintereinander auf einer Achse angebracht sind und durch einen Motor so in eine gleichmäßige Rotation versetzt werden, daß die dem Beobachter abgewandte Scheibe 10mal schneller rotiert als die unmittelbar vor ihm befindliche. Die vordere Scheibe hat einen Sektorausschnitt, welcher dem Beobachter für einige Sekunden den Durchblick nach der zweiten Scheibe freigibt, während welcher Zeit die zweite Scheibe einmal ihre Umdrehung ausführt. Die zweite Scheibe ist ebenfalls mit einem Sektorausschnitt versehen, welcher dem Beobachter für eine Zeitlang den Durchblick nach einer dahinter befindlichen beleuchteten weißen Fläche von begrenzter Ausdehnung (z. B. nach dem Rechteck I in Fig. 9 oben links) gestattet. Dann folgt ein Sektor aus weißem Papier, der ebenso hell beleuchtet ist wie I und somit die Belichtung der durch I begrenzten Stelle der Netzhaut in der gleichen Stärke weiter fortsetzt, aber auch die Umgebung (II in Fig. 9) mit beleuchtet. Dann folgt als letzter ein dunkler Sektor, der die Belichtung von I und II gleichzeitig auslöscht. Durch ein zwischen den beiden Scheiben angebrachtes Linsensystem ist dafür gesorgt, daß das Bild der zweiten Scheibe mit dem Ort der ersten Scheibe zusammenfällt, so daß der Übergang von einem Sektor der zweiten Scheibe zum anderen jedesmal so erfolgt, wie wenn beide Scheiben sich unmittelbar vor der Pupillenöffnung des Auges befänden.

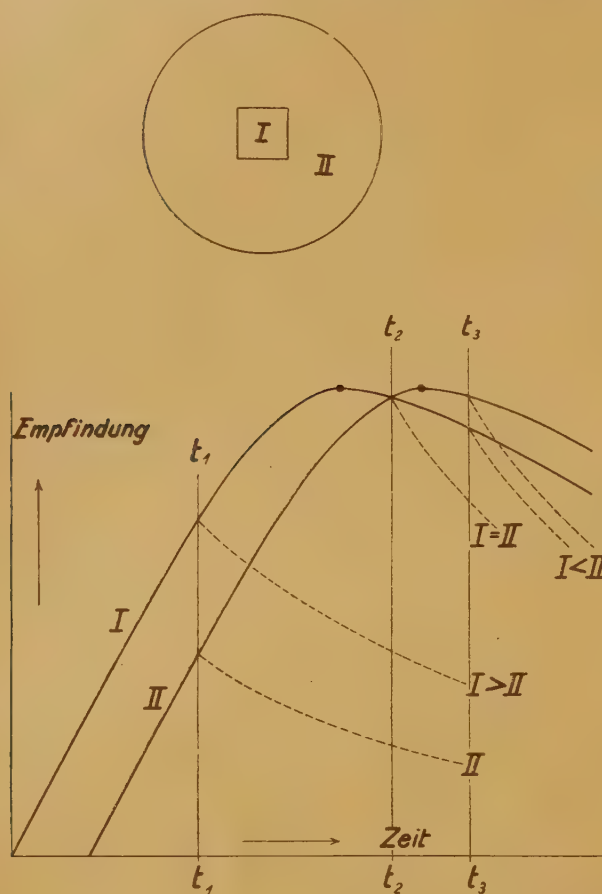
Die Geschwindigkeit, mit der sich die Scheiben drehen, war bekannt, und die Sektoren waren einzeln einstellbar. Aus ihrer Größe konnte daher ohne weiteres auf den Moment des Eintritts der Lichtreize und deren Zeitdauer geschlossen werden. Da die vordere Scheibe nur für wenige Sekunden den Durchblick gestattete, so herrschte für die übrige Zeit, mehrere Minuten lang, vollständige Dunkelheit, bis das Spiel wieder von neuem einsetzte.

Auf diesem Wege hat *Exner* gefunden, daß

für einen plötzlich einsetzenden und einige Zeit andauernden Lichtreiz der Anstieg der Lichtempfindung in einer Kurve (Fig. 9) erfolgt, deren Verlauf große Ähnlichkeit hat mit dem der Geschosßbahn. Beide Kurven tragen gleich bei Beginn den Keim des Todes in sich. An dem schräg aufwärtsfliegenden Geschosß zehrt die Schwere und zieht es abwärts, an der Empfindung des Lichtreizes die Ermüdung der Netzhaut.

des Vierecks. Unvollkommen ist die Beobachtung  $II > I$ , wenn das Abschneiden *hinter* dem Maximum (bei  $t_3$ ) stattfindet, einmal deshalb, weil hier die beiden Nachbildkurven sehr nahe beieinander stehen, dann aber auch aus Gründen, die in der erst später erforschten Form dieser

| Intensität des Lichtreizes | Zeit bis zur Erreichung des Maxim. der Empfindung |
|----------------------------|---|
| 1                          | 0,287 sec.  |
| 2                          | 0,246 sec.  |
| 4                          | 0,200 sec.  |
| 8                          | 0,151 sec.  |



Intensität

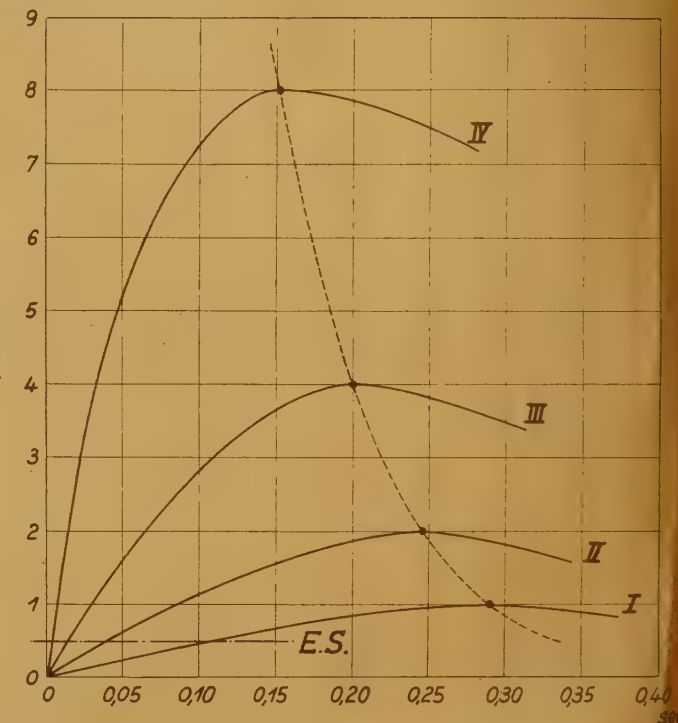


Fig. 9. Verlauf der Lichtempfindung (nach Sigm. Exner, 1868).

Beide Kurven erreichen ein Maximum, um von da aus, in dem einen Falle schneller als in dem anderen, wieder herabzugehen. Auf das Verfahren, wie Exner die einzelnen Teile der Empfindungskurve messend verfolgt hat, will ich hier nicht näher eingehen. Die Lage des Maximums der Empfindung bestimmte er in folgender Weise. - Er achtete auf die unmittelbar nach der Verdunkelung auftretenden *positiven Nachbilder* — in ihrem Verlauf in Fig. 9 durch die punktierten Kurven angedeutet — und sah zu, wie sich die beiden Nachbilder von I und II in ihrem Helligkeitsverhältnis zueinander verhielten. Geschieht nämlich das Abschneiden der Belichtung *vor* dem Maximum der Empfindung (z. B. in  $t_1$  in Fig. 9), so erscheint im Nachbild das Viereck I *heller* als seine Umgebung. Geschieht es in der Nähe des Maximums (z. B. bei  $t_2$ ), so verschwinden im Nachbild die Umrisse

Nachbildkurven liegen. Ich komme hierauf noch näher zurück.

Exner hat diese Anstiegskurven der Lichtempfindung dann noch für verschieden starke Lichtreize untersucht und gefunden, daß sie nicht allein *verschieden schnell ansteigen*, sondern daß auch die *Zeit zwischen dem Einsetzen eines Lichtreizes und dem zugehörigen Maximum der Empfindung mit zunehmender Stärke des Lichtreizes immer kleiner wird*, insonderheit für die untersuchten Intensitäten 1, 2, 4 und 8 abnimmt von 0,28 bis 0,15 Sekunden.

So große Zeitunterschiede kommen bei unserem obigen Experiment der „kreisenden Marke“ allerdings nicht vor. Denn nach den Versuchen in Fig. 8 haben wir für den Zeitunterschied der Perceptionen im verdunkelten und nicht verdunkelten Auge Werte gefunden, die nur wenige Hundertstel Sekunden betragen. Wir müssen



daher annehmen, daß bei dem seinen Ort auf der Netzhaut beständig ändernden Lichtreiz nicht das Empfindungsmaximum, sondern die *Empfindungsschwelle* — in der Höhenlage etwa so, wie sie in Fig. 9 rechts durch die horizontale Gerade angedeutet ist — für das Zustandekommen der „kreisenden Marke“ maßgebend ist. Daß das Überschreiten der Empfindungsschwelle je nach der Stärke des Lichtreizes zu verschiedenen Zeiten erfolgt, ergibt sich aus dem verschiedenartigen Anstieg der Kurven in Bild 9 von selbst.

## 2. Das Ausklingen des positiven Nachbildes eines nur kurze Zeit andauernden Lichtreizes.

Nach neueren Untersuchungen — ich verweise dieserhalb insonderheit auf die Ausführungen von Prof. F. W. Fröhlich-Bonn in „Grundzüge einer Lehre vom Licht- und Farbensinn“, Jena 1921 — hat sich nämlich herausgestellt, daß das Nachklingen eines nur kurze Zeit andauernden Lichtreizes nicht so, wie die punktierten Kurven in Bild 9 anzeigen, sondern in einer wellenförmigen Kurve vor sich geht, die große Ähnlichkeit hat mit dem in den *Gleitflug* übergehenden *Sturzflug eines Fliegers*. Der Verlauf richtet sich im einzelnen, ob mit einer oder mehreren Nachbildphasen, nach der Dauer, der Intensität und der Farbe der Belichtung, vor allem aber auch nach dem Adaptionszustand des Auges und anderen Dingen. Im allgemeinen sind die Erscheinungen nur wenig bekannt. Es kommt das daher, weil die positiven Nachbilder, die den nur kurze Zeit andauernden Lichtreizen unmittelbar nachfolgen, am Tage sehr viel schwerer zu beobachten sind, als die durch länger andauernde starke Lichtreize hervorgerufenen negativen Nachbilder. Ich will daher einen einfachen Versuch angeben, der das positive Nachbild eines nur kurze Zeit andauernden Lichtreizes und die Art seines Abklingens bequem und in größter Deutlichkeit zu beobachten gestattet.

Die beste Zeit hierfür ist die Stunde vor der Morgendämmerung. Man bleibt im Bett liegen und richtet sich nur soweit auf, daß man mit dem ausgestreckten Arm die auf dem Nachttischchen stehende elektrische Lampe erreichen kann. Die Hauptsache für das Gelingen des Versuches ist, daß man eine bestimmte dem Licht ausgesetzte Stelle des Bettuches schon vor dem Anzünden der Lampe ins Auge faßt und nicht erst nachher aufsucht, da durch das Umherirren der Blickrichtung während der Belichtung mehrere sich gegenseitig störende Nachbilder entstehen. Aus demselben Grunde macht man den Versuch auch nicht mit beiden Augen gleichzeitig, sondern hält ein Auge mit der Hand geschlossen. Unter diesen Vorsichtsmaßregeln zündet man die Lampe an und löscht sie gleich wieder aus. Auch kann man den Versuch in der Weise machen, daß man die Lampe brennen läßt, beide Augen eine Zeitlang mit den Händen zudeckt — die Augen immer

offen gehalten — und dann für einen Moment ein Auge freigibt. Beschränkt man die Belichtung auf eine tunlichst kurze Zeit, so nimmt die Helligkeitsempfindung den bereits oben erwähnten und in Bild 10 durch die ausgezogene Kurve angedeuteten Verlauf. Dem ersten Helligkeitsmaximum folgt nach etwa 1 Sekunde ein zweites, das von dem ersten durch einen dunklen Zwischenraum getrennt erscheint<sup>1)</sup>. Manchmal habe ich aber auch den Eindruck, als erfolge der Abfall der Empfindung nach der in Bild 10 punktiert gekennzeichneten Kurve. Das letzte Helligkeitsmaximum klingt dagegen sehr langsam und

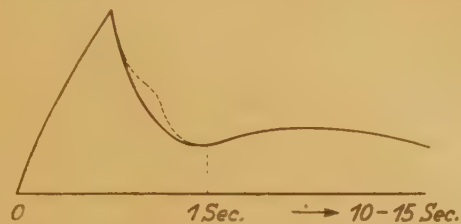


Fig. 10. Das Ausklingen des positiven Nachbildes. Auf die relative Höhe der einzelnen Ordinaten dieser Kurve ist bei Anfertigung der Kurve kein Gewicht gelegt worden. Nach den Untersuchungen von C. v. Heß geht das Minimum der Empfindung noch unter die Abszissenachse herab, entsprechend dem im Text angegebenen dunklen Zwischenraum zwischen den beiden Maximalwerten der Empfindung.

gleichmäßig aus, wobei nur zu beachten ist, daß während der ganzen bis zu 15 Sekunden dauernden Erscheinung die Blickrichtung unverändert festgehalten wird und das Auge offen bleibt. Auch gilt diese im Verhältnis zur Belichtungszeit sehr lange Dauer des Nachbildes nur für vollständige Dunkelheit des Zimmers. Legt man bei Beginn der Morgendämmerung gleich nach der Belichtung einen dunklen Gegenstand, z. B. einen Bleistift, auf das Bettuch, so sieht man von dem Bleistift zunächst nichts, er wird erst nach einiger Zeit sichtbar. Diese Zeit nimmt mit der Helligkeit der Morgendämmerung immer mehr ab. Vielleicht läßt sich dieses Verfahren, entsprechend ausgebildet, für die *Photometrie schwacher Lichterscheinungen* verwerten.

Die beiden Hauptempfindungsmaxima in Fig. 10 unterscheiden sich, abgesehen von ihrem Verlauf, auch noch in anderer Beziehung. Wenn

<sup>1)</sup> Man kann die zeitlich aufeinander folgenden Nachbilder auch räumlich nebeneinander legen, und zwar dadurch, daß man den Lichtreiz auf der Netzhaut seinen Ort schnell sich verändern läßt. So sieht man z. B. bei der Projektion der sich drehenden Scheibe (Fig. 3) die Nachbilder wie kleine Fähnchen unmittelbar hinter den Markenspitzen herlaufen. Die erste Phase eines solchen Nachbildes kann unter besonderen Umständen sogar ein dem ersten nahezu gleichwertiges zweites Bild des Gegenstandes hervorrufen. Das ist z. B. der Fall bei einem Versuch, den E. Hering in Pflügers Archiv 26, S. 604, 1909, veröffentlicht hat. Es werden zwei in festem Abstand voneinander befindliche Nadeln seitwärts mit einer solchen Geschwindigkeit bewegt, daß das Nachbild der ersten Nadel mit dem primären Bild der zweiten Nadel zusammenfällt. Hierbei wird dann das Nachbild der zweiten Nadel so verstärkt, daß es wie eine dritte Nadel erscheint.

man nämlich den Versuch, in angemessenen Ruhepausen natürlich, öfters wiederholt, so merkt man bald, daß die beiden Maxima verschieden gefärbt sind. Das erste Maxima hat die natürliche Farbe, die man auch bei Dauerbelichtung beobachtet, das zweite und das ganze Nachbild ist weiß, ohne irgendwelche Färbung. Mache ich den Versuch mit einem grünen oder roten Glase, das ich schon vor der Belichtung vor das Auge halte, so habe ich die Empfindung der Farbe nur für die kurze Dauer des ersten Helligkeitsmaximums. Das langandauernde Nachbild ist auch hier weiß, ohne irgendeine Andeutung der Farbe. Dieser Farbenunterschied erweckt unwillkürlich den Verdacht, als habe man es hier mit zwei nebeneinander herlaufenden Empfindungen zu tun, von denen die eine durch die Erregung der farbentüchtigen Zapfen der Netzhaut, die andere durch die Erregung der farbenuntüchtigen Stäbchen hervorgerufen wird. Ob das wirklich so ist, vermag ich nicht zu beurteilen. Nach Fröhlich (l. c.) spielen bei diesen Vorgängen die Reflexwirkungen des Zentralnervensystems eine große Rolle<sup>1)</sup>.

(Fortsetzung folgt.)

## Die Grundfragen der Pflanzensoziologie.

Von Walther Wangerin, Danzig-Langfuhr.

Der Lehre von den Pflanzengesellschaften, für die sich in neuerer Zeit — gewissermaßen ein Ausdruck für das Ringen dieser Disziplin um erhöhte Anerkennung ihrer Eigenheit und Selbständigkeit — die Bezeichnung „Pflanzensoziologie“ mehr und mehr einzubürgern beginnt, ist im Laufe der letzten Jahrzehnte ein bedeutender und rascher Aufschwung beschieden gewesen, von dem auch ein gewaltiges Anschwellen der einschlägigen Literatur beredtes Zeugnis ablegt. Nicht nur hat sich die Zahl der aus den verschiedensten Teilen der Erde mehr oder weniger eingehend beschriebenen Pflanzengesellschaften in ganz beträchtlichem Maße vermehrt, sondern auch das Bemühen, in das eigentliche innere Wesen der Pflanzengesellschaften einzudringen, die Gesetze und Ursachen ihres Bestehens, ihres Werdens und Vergehens zu ergründen, hat zu wachsenden Erfolgen und zu einer nicht unbedeuten-

den Vertiefung der Erkenntnis geführt. Immerhin aber haftet dieser schnellen Entwicklung und Anhäufung eines umfangreichen Wissensmaterials ein gewisser Mangel dadurch an, daß die Ausgestaltung des theoretisch begründenden Teiles unserer Wissenschaft mit ihr nicht gleichen Schritt gehalten hat. Denn die erzielten Fortschritte wurden in den verschiedenen Ländern nicht auf Grund eines einheitlichen Forschungs- und Arbeitsprogrammes erreicht, sondern es waren meist einzelne Forscher oder von solchen begründete Schulen, die, oft ohne engeren Kontakt miteinander, jeweils ihre besondere Auffassung in den grundlegenden Fragen der Begriffsbildung, Terminologie, Untersuchungsmethodik usw. bei der Bearbeitung der Einzelprobleme zur Geltung brachten. Eine solche Zersplitterung muß naturgemäß zu einem auf die Dauer mehr und mehr als unbefriedigend empfundenen Zustande führen und einen hemmenden Einfluß auf die innere Entwicklung und Konsolidierung der Wissenschaft ausüben. Schon Differenzen bezüglich der angewandten Terminologie stellen, obwohl an sich mehr formaler Natur, eine wenig wünschenswerte Erscheinung dar; in sehr viel stärkerem Maße aber wird die Verständigung und das Verständnis der Arbeiten erschwert durch Meinungsverschiedenheiten materieller Art, wie solche in methodologischer Hinsicht wie bezüglich der Fragen der Erfassung, Abgrenzung und Anordnung der Pflanzengesellschaften zwischen verschiedenen Autoren vielfach bestehen.

Ein erster ernstlicher, allerdings nicht zu einem durchschlagenden Erfolge gelangter Versuch, diesem Zustande der Unklarheit und Zersplitterung durch eine internationale Regelung ein Ende zu machen, wurde auf dem im Jahre 1910 in Brüssel abgehaltenen internationalen Botanikerkongreß unternommen. Diesem wurden von Flahault und Schröter als Berichterstatter zusammengestellte Berichte und Vorschläge über die phytogeographische Nomenklatur vorgelegt, in denen der Ausdruck „Assoziation“ für die grundlegende Einheit der Pflanzensoziologie angenommen und folgendermaßen definiert wurde: „Eine Assoziation ist eine Pflanzengesellschaft von bestimmter floristischer Zusammensetzung, einheitlichen Standortsbedingungen und einheitlicher Physiognomie.“ Daneben wurde für die übergeordnete Einheit der bereits 1838 von Grisebach eingeführte, seither allerdings von verschiedenen Autoren in sehr verschiedenem Sinne gebrauchte Terminus „Formation“ beibehalten als Zusammenfassung solcher Assoziationen, die bei Verschiedenheit ihrer floristischen Zusammensetzung in erster Linie in den Standortsbedingungen, in zweiter Linie in den Lebensformen übereinstimmen. Unter Standort wird dabei die Gesamtheit der an einer geographisch bestimmten Örtlichkeit wirksamen Faktoren verstanden, soweit sie die Pflanzenwelt beeinflussen. Das hervorstechendste Merkmal dieser Definitionen darf darin erblickt

<sup>1)</sup> Herr Geheimrat v. Heß-München, dem ich bei Gelegenheit der Ophthalmologentagung vom 8. bis 10. Juni d. J. in Jena über den Inhalt des vorliegenden Aufsatzes referierte und die Erscheinung der „kreisenden Marke“ vorführte, die er übrigens ausgezeichnet zu sehen imstande war, hatte die große Freundlichkeit, mir mehrere seiner Arbeiten zukommen zu lassen, in denen das Abklingen der Erregung im Sehorgan in ausführlichster Weise behandelt ist. In diesen im Archiv für Physiologie erschienenen Aufsätzen hat Herr v. Heß die Voraussetzungen über die Art des Abklingens und die Art der Übereinanderlagerung der einzelnen Empfindungen, von welchen Voraussetzungen Sigmund Eäner bei seinen oben beschriebenen Versuchen ausging, als unhaltbar bezeichnet. Eine zusammenfassende Darstellung dieser Dinge mit Literaturangaben findet sich in der soeben erschienenen Schrift: C. v. Heß, *Farbenlehre*, München 1922.



werden, daß sie die Assoziation als eine durch den Standort bedingte ökologische Einheit auffassen. Wenn also die Arten in der Natur nicht regellos untereinander vermischt auftreten, sondern mit großer Regelmäßigkeit sich zu bestimmten und in der gleichen Zusammensetzung immer wiederkehrenden Verbänden anordnen — und diese grundlegende Tatsache bildet ja den Ausgangspunkt der ganzen Pflanzensoziologie —, so stellt der Standort das eigentlich ursächliche Moment für diese Ausbildung bestimmter Pflanzengesellschaften dar, deren jede einer bestimmten Kombination der ökologischen Bedingungen entspricht und in ihrer Zusammensetzung aus bestimmten Lebensformen und dadurch bedingter Physiognomie ein Spiegelbild der herrschenden ökologischen Verhältnisse darstellt. Die in einem Gebiet gegebene Flora liefert sozusagen das Material, aus dem durch die Auslesewirkung der Standortsfaktoren die den Aufbau der verschiedenen Pflanzengesellschaften bedingende Auswahl getroffen wird; in geographisch verschiedenen Gebieten mit verschiedener Flora resultieren daher unter klimatisch und edaphisch ähnlichen Bedingungen ökologisch gleichartige und gleichwertige Pflanzengesellschaften, die entsprechend ihrer verschiedenen Artenzusammensetzung als verschiedene Assoziationen Glieder derselben Formation bilden.

Einen scharf ablehnenden Standpunkt gegenüber einer solchen Betonung des ökologischen Momentes, das ja auch schon vor jener von *Flahault* und *Schröter* gegebenen Formulierung des Assoziationsbegriffes mehr oder weniger bestimmt die pflanzensoziologische Forschung vielfach beherrscht hat, nimmt nun in neuerer Zeit die an *Hult* und *Sernander* anknüpfende Upsalaer pflanzensoziologische Schule ein, aus deren rühriger Tätigkeit im Laufe der letzten Jahre eine Anzahl wichtiger Arbeiten hervorgegangen ist und als deren hauptsächlichster Wortführer *Du Rietz* insbesondere die methodologischen Grundlagen der Pflanzensoziologie in einer umfangreichen Abhandlung kritisch untersucht hat. Das Hauptargument bei der von dieser Seite geübten Kritik bildet die Feststellung der Tatsache, daß der von der traditionellen Auffassung vorausgesetzte fixe Kausalzusammenhang zwischen Standort und Vegetation in der Natur in Wahrheit gar nicht vorhanden sei; denn einerseits könne man an Standorten, die keine irgendwie merklichen Unterschiede voneinander aufweisen, ganz verschiedene Assoziationen neben- und durcheinander wachsend antreffen, so daß also, wenn die gleichen Bedingungen verschiedene Produkte ergeben können, neben den ökologischen Verhältnissen offenbar noch anderen Faktoren ein entscheidendes Mitbestimmungsrecht zukomme. Von letzteren werden besonders die biotischen, auf dem Zusammenleben und der sozialen Verkettung mit anderen Organismen beruhenden, und die historischen, in der Besiedlungsgeschichte gegebenen hervorgehoben unter

Hinweis z. B. auf die Veränderungen, welche die Zusammensetzung einer Pflanzengesellschaft durch Eindringen neuer Elemente erleiden kann, ohne daß die ökologischen Bedingungen die geringste Änderung erfahren hätten, und unter Betonung ferner der Tatsache, daß es Standorte geben kann, die für eine bestimmte Spezies in jeder Hinsicht wohl geeignet sind, auf denen sie sich aber trotzdem nicht halten kann, weil sie bereits von anderen, ihnen adäquaten Arten besiedelt und behauptet werden. Andererseits wird auf die bekannte Erscheinung hingewiesen, daß viele ökologische Faktoren einander in mehr oder weniger hohem Grade ersetzen können (z. B. Auftreten von wärmeliebenden Pflanzengesellschaften auf Kalkboden in ihnen im allgemeinen nicht mehr zusagenden Klimagebieten oder derselben, von Wollgräsern gebildeten Moorassoziationen auf von mächtigen Torflagern gebildeten Standorten des lappländischen Waldgebietes einerseits, auf Böden mit wenig oder keiner Torfbildung im Hochgebirge oberhalb der Baumgrenze andererseits u. ähnl. m.), so daß also eine und dieselbe floristisch und physiognomisch einheitliche Pflanzengesellschaft unter recht wechselnden ökologischen Verhältnissen existieren kann und die „einheitlichen Standortbedingungen“ aus ihrer Kennzeichnung gestrichen werden müssen. Endlich wird auch die Tatsache herangezogen, daß in der Natur die Grenzen zwischen verschiedenen Assoziationen auch dort erstaunlich scharf seien, wo von einer sprungweisen Änderung der Standortbedingungen nicht die Rede ist, während man bei Voraussetzung eines direkten Kausalzusammenhanges zwischen Standort und Vegetation in solchem Falle weit eher einen kontinuierlichen Übergang zwischen den verschiedenen Assoziationen erwarten sollte; die Ursache für die Ausbildung dieser scharfen Grenzen wird in erster Linie in dem Konkurrenzkampf der Arten erblickt, dessen Ausgang aber weit mehr von der Menge der Verbreitungseinheiten und Sproßsysteme abhängig sei, die jede Art in den Kampf einzusetzen habe, als von der Frage, ob die an einer bestimmten Örtlichkeit gebotenen ökologischen Bedingungen ihr ein optimales Gedeihen ermöglichen. Auf Grund dieser Erwägungen wird also die Auffassung von der ausschließlichen ökologischen Bedingtheit der Vegetationseinheiten als eine sachlich ungerechtfertigte Hypothese abgelehnt und die Assoziation definiert als eine Pflanzengesellschaft von bestimmter floristischer Zusammensetzung und bestimmter Physiognomie; für letztere maßgebend sind die Grundformen oder Haupttypen der vegetativen Ausbildung (z. B. laubwechselnde Bäume, Nadelbäume, Zwergsträucher, Gräser, Schwimmblattpflanzen, Flechten usw.), die innerhalb der systematisch verschiedensten Gruppen des Pflanzenreiches und in den geographisch verschiedensten Teilen der Erde wiederkehren, bei denen aber von einer Beziehung zwischen Physiognomie und Ökologie, wie sie dem Begriff „Lebensformen“ vorschwebt,

grundsätzlich abgesehen wird. Ganz entsprechend werden die Formationen definiert als in der Natur regelmäßig wiederkehrende Kombinationen von Grundformen, also als Pflanzengesellschaften von gleicher Physiognomie, aber wechselnder floristischer Zusammensetzung; auch hier wird also die Heranziehung ökologischer oder sonstiger Gesichtspunkte konsequent abgelehnt. In methodologischer Hinsicht ergibt sich aus alledem die Forderung, rein induktiv zu verfahren und nur die Vegetation selbst zum Ausgangspunkt und Gegenstand der Untersuchung zu machen; das Auftreten bestimmter und charakteristischer Zusammenschlüsse von Pflanzen und die das Aussehen und die Verteilung der Vegetation bestimmenden, durch die Untersuchung zu ermittelnden Gesetze stellen für die Verff. eine Erscheinung dar, die an und für sich unter gänzlicher Ausschaltung ökologischer oder sonstiger Gesichtspunkte ein besonderes Studium rechtfertigt und notwendig macht, während der Versuch, von den Standorten ausgehend zu einer Abgrenzung und Klassifikation der Pflanzengesellschaften zu gelangen, als ein deduktives, nur zu Kunstprodukten und nicht zu wirklichen, in der Natur existierenden Einheiten führendes Verfahren scharf abgelehnt wird.

Wenn auf diese Weise also die Artenzusammensetzung zum Angelpunkt in der Fassung des Assoziationsbegriffes gemacht wird, so erwächst hieraus die Aufgabe, die Bedeutung der verschiedenen, an einer Assoziation teilhabenden Arten klarzustellen, vor allem also die großen durchgängigen Züge, welche die verschiedenen in der Natur gegebenen Flecken einer Assoziation zusammenhalten, durch Sonderung des unbedingt durchgängigen Artengrundgerüsts von den mehr oder weniger zufälligen Arten herauszuschälen. Die Lösung dieser Aufgabe finden die Verff. in dem zuerst von *Brockmann-Jerosch* eingeführten Konstanzbegriff, dem sie dadurch eine sichere Grundlage und bestimmtere Fassung zu geben suchen, daß sie innerhalb einer Assoziation auf einer größeren Zahl quadratischer Probeflächen von bestimmter Größe mit möglichster Genauigkeit den gesamten Artenbestand aufnehmen und das so gewonnene Material statistisch bearbeiten; als Konstanten werden dann diejenigen Arten bezeichnet, deren Konstanzzahlen bei der Untersuchung von Flächen genügender Größe 90% überschreiten. Auf die bei diesen Untersuchungen gefundenen Konstanzgesetze legen die Verff. entscheidenden Wert; dieselben lassen sich etwa folgendermaßen zusammenfassen: Jede natürliche Assoziation besitzt eine größere oder kleinere Zahl von konstanten Arten, die an Zahl die Artenzahl in jedem anderen Konstanzgrade bedeutend übertreffen, sofern nicht gerade die Assoziation nur eine einzige Konstante enthält; in diesem letzteren Sonderfall bleiben aber die übrigen hohen und gewöhnlich auch die mittelhohen Grade ohne Arten. In jedem besonderen

Flecke einer Assoziation bilden die Konstanten einen höchst wesentlichen Teil der Artenzahl, auf den auch der überwiegende Teil der Vegetationsmasse in der Regel entfällt. Diese Grundzüge in der Konstitution der Assoziationen sind unabhängig von der geographischen Entfernung zwischen den untersuchten Stellen. Jede Assoziation hat immer wenigstens eine, in den meisten Fällen mehrere, oft eine ziemlich große Anzahl von generellen Konstanten, die ihr durch ihr ganzes Verbreitungsgebiet folgen und in ihren sämtlichen Varianten wiedergefunden werden; daneben hat jede ausgeprägtere geographische Fazies und jede ausgeprägtere Variante noch ihre besonderen Konstanten; endlich treten innerhalb einer begrenzten Lokalität oft noch mehr oder weniger zahlreich rein lokale Konstanten auf. Den Konstanten werden als akzessorische diejenigen Arten einer Assoziation gegenübergestellt, welche in Quadraten von praktisch anwendbarer Größe zwar nicht konstant sind, aber es wahrscheinlich auf sehr großen Arealen werden, während sie in den gewöhnlichen Quadratgrößen im allgemeinen den mittelhohen Konstanzgraden angehören; als zufällige Arten endlich werden diejenigen bezeichnet, die auch bei beliebiger Steigerung der Quadratgröße nicht konstant werden können. In Konsequenz der Bedeutung, welche die schwedischen Autoren diesen Konstanzgesetzen beimessen, wird dann die obige Definition der Assoziation dahin präzisiert, daß unter einer solchen „eine Pflanzengesellschaft mit bestimmten Konstanten und bestimmter Physiognomie“ verstanden wird. Aus der Einführung der statistischen Methoden zur Bestimmung der Konstanten ergibt sich ferner noch ein besonderes Problem, nämlich die Frage nach der Größe der anzuwendenden quadratischen Probeflächen; denn selbstverständlich werden die Konstanzzahlen bei Verwendung verschiedener Quadratgrößen recht verschieden ausfallen, indem mit wachsender Quadratgröße auch durchwegs die Konstanzzahlen der Arten zunehmen und eine steigende Zahl von Arten die absolute Konstanz erreicht. Bei ihren speziellen, diesem „Minimiarealproblem“ gewidmeten Untersuchungen haben die Verff. indessen gefunden, daß die anfangs bedeutende Zunahme der Konstanzzahlen bei der sukzessiven Steigerung der Quadratgröße bald abzunehmen beginnt und daß die meisten Arten schon bei relativ unbedeutenden Quadratgrößen Konstanzzahlen erreichen, die weiterhin keine merkliche Änderung mehr erleiden; insbesondere bleiben die Arten mit hohen Konstanzzahlen schon sehr bald ziemlich unverändert. Für artenarme Assoziationen ist das „Minimiareal“, d. h. die Mindestfläche, die jede Assoziation für die Entwicklung ihrer wesentlichen Bestandteile erfordert, naturgemäß geringer als für artenreiche; in der skandinavischen Vegetation wird es für artenarme Wälder auf 1—4 qm angegeben; für Zwergstrauchheiden, Krautgrasheiden, Krautgrasmoore und reine Flechtenbestände liegt es in der Regel unter 1 qm,



für die meisten Wiesen wieder zwischen 1 und 4 qm, für artenreiche Wälder und die artenreichsten Wiesen noch etwas höher. Assoziationsflecken, die unter dem Minimiareal bleiben, werden als Assoziationsfragmente bezeichnet. Die Frage nach den Ursachen der Konstanzgesetze wird von den Verff. nur mehr im Vorbeigehen berührt und angedeutet, daß dabei wohl dem Daseinskampf während der phylogenetischen Entwicklung der Assoziationen eine ausschlaggebende Rolle zufallen dürfte; im ganzen erscheint *Du Rietz* das Problem zu kompliziert, um es mit dem gegenwärtig zur Verfügung stehenden Material von zuverlässigen Naturbeobachtungen lösen zu können.

In den Konstanzgesetzen verkörpert sich also für die schwedischen Autoren das eigentliche Wesen der inneren Struktur der natürlichen Pflanzengesellschaften; ihnen gegenüber besitzen die sonstigen Züge der „Gesellschaftsmorphologie“ nur eine verhältnismäßig sekundäre Bedeutung. In Betracht gezogen werden von *Du Rietz* neben der Gliederung der Vegetation in Schichten vornehmlich die Gesetzmäßigkeiten der Artenanzahl in den Assoziationen — hier wird die Angabe der durchschnittlichen Anzahl für ein bestimmtes Areal, die eine recht regelmäßige Variation um einen bestimmten Mittelwert herum zu besitzen scheine, zur Charakterisierung gefordert — und die Gesetzmäßigkeiten der Mengenverhältnisse. Hier handelt es sich zunächst um die Massenverhältnisse zwischen den oberirdischen Sproßsystemen der verschiedenen Arten, die für das Aussehen der Vegetation bestimmend sind. Da die gewichtsanalytische Methode, welche an sich am exaktesten sein würde, aus praktischen Gründen im allgemeinen nicht anwendbar ist, so wird in erster Linie die Bestimmung des Bedeckungsgrades empfohlen, bei der die Sproßsysteme jeder Art auf die Bodenfläche projiziert werden und schätzungsweise ermittelt wird, welchen Teil derselben sie bedecken; die Resultate werden nach *Hult-Sernander* in einer fünfteiligen Skala angegeben. In einer Anzahl von Fällen vorgenommene exakte Kontrolltaxierungen haben den Verf. zu der Überzeugung geführt, daß in der Hand eines geschulten Beobachters die Schätzungsmethode keineswegs so subjektiv und unzuverlässig ist, wie man sie mitunter hingestellt hat. Die Bestimmung des Bedeckungsgrades gibt aber nur ein Bild von der Gesamtmenge jeder Art in der betreffenden Probefläche, sie vermag dagegen keine Kenntnis von der Verteilung dieser Menge innerhalb der Probefläche zu vermitteln. Für solche Dichtigkeitsbestimmungen wird die Individuenzählmethode verworfen, weil besonders bei teppichförmig wachsenden Arten oder solchen mit starker vegetativer Vermehrung sich nicht objektiv entscheiden läßt, was als ein Individuum gelten soll; gegen die von *Raunkiaer* angewendete Methode, der innerhalb der Assoziation quadratische oder kreisförmige Probeflächen von geringer Größe (0.1 qm) beliebig auswirft, die darin vor-

handenen Arten aufzeichnet und die Ergebnisse von 50 solchen Bestimmungen in „Frequenzprozenten“ ausdrückt, wird eingewendet, daß sie einerseits für Konstanzbestimmungen wegen der zu geringen Quadratgröße unbrauchbar sei und auch keine vollständigen Artenlisten zu liefern vermöge, während andererseits die Quadratgröße von 0,1 qm noch zu groß sei, um ein befriedigendes Bild von der Dichtigkeit zu geben. Zur Behebung dieser Mängel wird vorgeschlagen, eine größere Probefläche, von der eine vollständige Artenliste aufgestellt und die auch auf den Bedeckungsgrad der einzelnen Arten hin analysiert ist, in kleinere Quadrate von höchstens 1 qdm Größe zu zerlegen und durch Wiederholung dieses Verfahrens an einer einigermaßen großen Zahl von Probeflächen allgemein gültige Werte für die Dichtigkeitskoeffizienten zu erhalten. Zu der Frage der Gesellschaftstreue endlich, d. h. des mehr oder weniger engen Gebundenseins einer Art an eine bestimmte Assoziation bemerkt *Du Rietz*, daß in den bisher untersuchten skandinavischen Pflanzenvereinen die Existenz solcher eng beschränkten „Charakterarten“ etwas äußerst Seltenes zu sein scheine; eher komme es vor, daß das Auftreten einer Art als Konstante auf eine bestimmte Assoziation sich beschränke, doch wird dem in pflanzensoziologischer Hinsicht nur geringer Wert beigemessen.

In dem letzterwähnten Punkte tritt ein scharfer Gegensatz der schwedischen Autoren, deren Ausführungen wir bis hierher gefolgt sind, gegenüber dem Schweizer *J. Braun-Blanquet* zutage. Diesem Forscher erscheinen prinzipiell zwei voneinander unabhängige und sachlich an sich gleichberechtigte Fassungen der gesellschaftlichen Grundeinheit möglich, eine physiognomisch-ökologische, auf die Lebensformen begründete, für welche die Termini Synusie (Vereinigung von Individuen einer bestimmten Wuchsform), Verein (einschichtiger Lebensformenkomplex mit ähnlicher Ökologie) und Formation (Komplex von Vereinen mit mehr oder weniger übereinstimmender Gesamtphysiognomie) vorgeschlagen werden, und eine auf den Arten der Sippensystematik aufbauende floristische, bei der die Vereinigung zahlreicher Individuen einer Art als Herde, ein Artenkomplex mit bestimmten floristischen und soziologischen Merkmalen als Assoziation, und endlich eine Vereinigung floristisch und soziologisch mehr oder weniger nahe verwandter Assoziationen als Assoziationsgruppe (Verband) bezeichnet wird. *Braun* entscheidet sich für die floristische Grundlage des Gesellschaftsstudiums, weil nur eine auf den Arten beruhende Einteilung als Basis eines natürlichen Gesellschaftssystems in Frage komme, eine ökologische Klassifikation dagegen so lange unmöglich sei, wie ein natürliches System der Lebensformen fehle. So rückt auch hier der Assoziationsbegriff in den Mittelpunkt, doch wird ihm, wie schon die oben angegebene Fassung erkennen läßt, ein wesentlich anderer Inhalt und

Umfang gegeben als bei den schwedischen Autoren. Bei letzteren sind die Assoziationen recht kleine Einheiten, von denen ausdrücklich betont wird, daß sie in der Natur als scharf und deutlich abgegrenzte Artenkombinationen existieren, und sie erheben gegen das, was von *Braun-Blanquet* in früheren Arbeiten wie auch von *Brockmann-Jerosch*, *Rübel* u. a. als Assoziation beschrieben worden ist, den Einwand, daß es sich dabei um sehr kollektive Verbände und nicht um echte Assoziationen handle. *Braun* dagegen lehnt eine Identifizierung der Assoziation als grundlegender Einheit mit der kleinsten Einheit nachdrücklich ab; die Assoziation stehe vielmehr zu den kleinsten Einheiten, den sowohl qualitativ wie quantitativ (d. h. in bezug auf Mengenverhältnis, Verteilung der Arten und Deckungsgrad) einheitlichen Siedlungen etwa im gleichen Verhältnis wie die Art zur Varietät oder Form und nur dadurch, daß in einförmigen, artenarmen Gebieten solche kleinsten Einheiten in geringerer Mannigfaltigkeit auftreten, dafür aber räumlich oft außerordentlich ausgedehnt sind, sei es zu erklären, daß sie z. B. in Skandinavien öfter für verschiedene Assoziationen angesehen würden. Dementsprechend sind für *Braun* die Assoziationen abstrakte Einheiten; die in der Natur gegebenen konkreten Individuen sind nur Einzelsiedlungen oder Lokalbestände, die oft nur ein Minimum von Gesellschaftsmerkmalen aufweisen und von denen die bestentwickelten sich allenfalls der ideellen „synthetischen Assoziation“ stark annähern können. Aufgabe der Pflanzensoziologie ist das Studium der Gesellschaftsorganisation, die Klarlegung des Verhältnisses der Einzelglieder zur Gemeinschaft, insbesondere also die Bewertung der Bedeutung der einzelnen Arten für den Aufbau, das Bestehen und den Abbau der Gesellschaft, ferner die Feststellung ihrer mehr oder weniger strengen Beschränkung auf bestimmte Gesellschaften und die Erfassung des Abhängigkeitsverhältnisses der Arten von der Gesellschaft und der letzteren von den Arten. Unter den verschiedenen Merkmalen der Gesellschaftsorganisation legt nun *Braun-Blanquet* das Hauptgewicht auf die diagnostisch brauchbaren und von diesen wiederum rückt er gerade die Gesellschaftstreue in den Vordergrund. Von den 5 unterschiedenen Treuegraden werden die gesellschaftstreuen (fast oder ganz ausschließlich an eine bestimmte Gesellschaft gebunden), gesellschaftsfesten (eine bestimmte Gesellschaft ausgesprochen bevorzugend, daneben auch, obschon spärlich, in verwandten Gesellschaften) und gesellschaftsholden (in mehreren Gesellschaften reichlich vertreten, jedoch eine bestimmte Gesellschaft mehr oder weniger bevorzugend) als Charakterarten zusammengefaßt; sie bilden den gesellschaftseigenen Grundstock, den eine Gesellschaft vor der anderen voraus hat und wodurch sie sich in erster Linie von anderen Gesellschaften unterscheidet, und sind für die rein floristische Kennzeichnung der

Gesellschaften unentbehrlich; im Gegensatz zu den oft starken Schwankungen unterworfenen bloß quantitativen und Geselligkeitsverhältnissen stellen sie das stabile Element der Gesellschaft dar und sind zugleich auch nicht zu unterschätzende Indikatoren ökologischer und geographischer Verhältnisse. Die wichtigsten direkten Ursachen der Treuebildung erblickt *Braun* in der einseitigen, ganz speziellen Anpassung an bestimmte Standortsfaktoren, ferner in der direkten Abhängigkeit von anderen Organismen und endlich in den Konkurrenzverhältnissen, die eine Zurückdrängung weniger gut angepaßter Arten auf bestimmte Gesellschaften mit sich bringen. Bei der Ausbildung der Treueverhältnisse spielt die Zeit eine wichtige Rolle; daher die Armut jung besiedelter Gebiete (z. B. die Waldgegenden Nord- und Mittelschwedens) an gut umschriebenen, durch Charakterpflanzen ausgezeichneten Gesellschaften im Gegensatz zu geologisch alten, artenreichen Gebieten wie den südeuropäischen Gebirgen. Jenen Gesellschaften, die sich durch das Vorhandensein von Charakterarten auszeichnen, muß gegenüber solchen, die Derartiges nicht aufzuweisen haben, eine höhere Rangstufe beigemessen werden, und die obige Fassung des Assoziationsbegriffes wird dahin ergänzt, daß eine solche eine durch bestimmte floristische und organisatorische Merkmale gekennzeichnete Pflanzengesellschaft ist, die durch Vorhandensein von Charakterarten eine gewisse Selbständigkeit vertritt. Neben der Bestandestreue erblickt *Braun-Blanquet* auch in der Stetigkeit des Auftretens einer Art in einer bestimmten Gesellschaft, also in der Konstanz ein wichtiges Merkmal, um die Beziehungen der Arten als solche zur Gesellschaft zu beleuchten, wenngleich der Indikationswert der Konstanten dadurch gemindert werde, daß bei dem Versuch, generelle Konstanten für ein ausgedehntes Gebiet herauszuschälen, meist nur etwaige bestandesbedingend-dominierende Arten und weit verbreitete Ubiquisten einen hohen Konstantenrang erhielten. Zur schärferen Kennzeichnung der Konstanz schlägt er eine fünfgliedrige Skala vor, in der die Konstanzgrade durch Ziffern ausgedrückt sind, und erhebt zur einwandfreien Ermittlung der Konstanz die Forderung, daß jede Einzelsiedlung nur einmal in der Statistik figurieren dürfe, daß alle bei der Statistik verwendeten Lokalbestände optimal entwickelt und daß sie möglichst gleichmäßig über das Untersuchungsgebiet verteilt seien. Vor allem die erste, aber auch die dritte dieser Forderungen findet er in den Konstanzbestimmungen der Upsalaer Schule nicht ausreichend erfüllt, gegen deren Quadratählmethode er überdies den Einwand erhebt, daß sie sich nicht auf die Gesellschaftsstetigkeit im eigentlichen Sinne, sondern auf ein Mittelding zwischen Konstanz und Verbreitungszahl (Frequenz) beziehe. Gesellschaftstreue und Konstanz sind die wichtigsten qualitativen Gesellschaftsmerkmale, denen gegen-



über die quantitative Siedlungsanalyse, welche über das Verhältnis der Individuen innerhalb der Gesellschaft Auskunft gibt, nach Ansicht von *Braun-Blanquet* bisher zu sehr überschätzt worden ist. Da sowohl die Abundanz (Individuenzahl jeder Art), die in Gebieten mit reicher und stark gemischter Flora in den Vordergrund tritt, als auch die Dominanz (Deckungsgrad), auf deren Einschätzung in Gebieten mit einheitlicher, geschlossener Vegetationsdecke und zahlreichen, herdenbildenden Arten das Hauptgewicht gelegt wird, schon zwischen zwei benachbarten Siedlungen einer und derselben Gesellschaft erheblichen Schwankungen unterliegen können, so genügt zu ihrer Bestimmung im allgemeinen die Schätzungsmethode, die bei verhältnismäßig geringem Zeitaufwand noch brauchbare Resultate liefert, während die Exaktheit der umständlichen Stichprobenmethoden oft auch nur eine scheinbare ist. Ein organisatorisch gleichfalls nur untergeordnetes Gesellschaftsmerkmal, das aber strukturell immerhin eine nicht unwichtige Rolle spielt und dessen man nicht entraten kann, wenn es sich darum handelt, eingenaues Bild des herrschenden Pflanzenmosaiks zu geben, stellt die Geselligkeit (Sozialität) der Arten dar, deren verschiedene Abstufungen ebenfalls durch eine 5gradige Skala zum Ausdruck gebracht werden. Von *Pavillard* endlich übernimmt *Braun-Blanquet* als wichtiges soziologisches Merkmal noch die Berücksichtigung des dynamischen oder bedingenden Wertes der Arten für die Gesellschaft, der z. B. darin zum Ausdruck kommt, daß in einem Fageturn die Rothuche, obschon nicht völlig treu, von viel höherem Werte ist als die bestandstreuen Arten der begleitenden Staudenflora, denen nur eine äußerst geringe aufbauende und erhaltende Bedeutung zukommt. Namentlich bei Pflanzengesellschaften, die raschem Wechsel unterworfen sind (Verlandungsbestände, Dünen, Geröll), und bei den Mooren ist die Berücksichtigung dieses Gesichtspunktes von erheblicher Wichtigkeit; dabei tritt auch zutage, daß der dynamische Wert einer und derselben Art im Laufe der Entwicklung erheblichen Schwankungen unterliegen kann. Eine genaue Feststellung derselben bereitet freilich beträchtliche Schwierigkeiten, und es eröffnet sich hier der künftigen Forschung noch ein weites Feld, bei dessen Bebauung es auf vergleichende und womöglich auch experimentelle Sukzessionsstudien, auf auto- und synökologische Studien wie auch auf die Anwendung exakter pflanzenphysiologischer Methoden ankommen wird. Vorläufig wird man sich in den meisten Fällen mit einer vorsichtigen Einschätzung auf Grund von Beobachtungstatsachen begnügen müssen, für deren Ergebnisse die Eingliederung in eine der 5 Stufen: aufbauend, erhaltend, festigend, neutral, zerstörend vorgeschlagen wird.

Wenn es sich nun darum handelt, zu den im vorstehenden referierten Arbeiten, die neben der Neuauflage des bekannten Lehrbuches von *War-*

*ming-Graebner*, einer im folgenden noch kurz zu berücksichtigenden Abhandlung von *Gams* und einer mir im Original leider nicht zugänglichen Arbeit von *Tansley*, dem Führer der englischen Pflanzensoziologie, zweifellos als die wichtigsten Erzeugnisse der jüngsten pflanzensoziologischen Literatur angesehen werden müssen, Stellung zu nehmen, so sei zunächst die Frage berührt, ob die grundsätzliche Ausschaltung des ökologischen Momentes aus der pflanzensoziologischen Begriffsbildung gutzuheißen ist. Ich vermag mich diesem Standpunkt nicht anzuschließen. Mit *Cajander* und *Rübel* bin ich der Ansicht, daß zum Begriff der Pflanzengesellschaft der durch die Umwelt, das Milieu bedingte Haushalt als unerläßlicher Bestandteil gehört, daß die Existenz und die Regelmäßigkeit sowie die oft recht gut markierte Abgrenzung der Pflanzenvereine vornehmlich in den ökologischen Verhältnissen ihre Erklärung findet. Durch den Umstand, daß die Vegetation nicht unbedingt eine eindeutige und eindeutig umkehrbare Funktion der Standortbedingungen ist, wird die Tatsache nicht aufgehoben, daß jede Pflanzengesellschaft einen bestimmten ökologisch-biologischen Charakter besitzt, der zu ihren wichtigsten Grundzügen gehört und als ein Spiegelbild der Standortverhältnisse in ihrer Wirkung auf die Pflanzenwelt angesehen werden darf. Ohne die Bedeutung zu unterschätzen, die der Zufall bei der Ausbreitung der Samen und sonstiger Verbreitungsmittel für die Zusammensetzung der Pflanzengesellschaften besitzt und die insbesondere in dem gelegentlichen auffälligen Fehlen einzelner Arten einerseits, in dem Zustandekommen verschiedener, von etwa gleich starken Arten mit gleichen biologischen Ansprüchen gebildeter Pflanzenvereine unter gleichartigen Bedingungen andererseits zum Ausdruck gelangt, wird man doch den Einfluß der ökologischen Verhältnisse in der Mehrzahl der Fälle als den überwiegenden anerkennen müssen. Wenn daher die ganze Arbeit der Pflanzensoziologie ausschließlich auf floristischer Grundlage erfolgen soll, dagegen die Synökologie als ein völlig gesondertes Gebiet für sich ausgeschieden wird, das die pflanzensoziologische Begriffs- und Systembildung nicht im geringsten beeinflussen darf, so erhebt sich eine auf solcher Basis beruhende „Gesellschaftsmorphologie“ meines Erachtens nicht allzuweit über das Verfahren der klassischen Morphologie, die die pflanzlichen Organe nur nach ihrem morphologischen Wert beschrieb und rubrizierte, die Berücksichtigung der Funktion dagegen völlig außer Acht ließ. Die Pflanzengesellschaften, wie sie in der Natur gegeben sind, besitzen nun einmal sowohl eine bestimmte floristische Zusammensetzung wie auch einen bestimmten ökologisch-biologischen Charakter, und das endgültige Ziel der Pflanzensoziologie kann deshalb wohl nur eine glückliche Synthese beider Gesichtspunkte sein. Dies dürfte auch der Auffassung der Mehrzahl der mittel-

europäischen Pflanzensoziologen, insbesondere derjenigen *Drudes*, aber u. a. auch der *Raunkiaers* entsprechen, und ihr wird *Du Rietz* wohl nicht ganz gerecht, wenn er im historischen Teil seiner Arbeit meint, daß bei diesen Autoren die Aufnahme des ökologischen Momentes in den Assoziationsbegriff nur noch als ein aus einer gewissen überkommenen Zwangsvorstellung herrührendes Relikt, als eine praktisch bedeutungslose Dekoration dastehe. Und daß auch rein praktisch eine völlige Ausschaltung der Ökologie gar nicht möglich ist, zeigt sich am deutlichsten darin, daß sowohl die schwedischen Autoren wie auch *Braun-Blanquet* bei verschiedenen Gelegenheiten, erstere besonders bei der Frage nach der Ursache der Konstanzgesetze und der scharfen Grenzen zwischen den Assoziationen, letzterer bei etwas tieferem Eindringen in die gesellschaftsmorphologischen Merkmale der Berücksichtigung ökologischer Gesichtspunkte nicht entraten können. Denn es erscheint als eine sachlich wenig begründete Abweichung von der sonst in der Pflanzengeographie üblichen Auffassung der ökologischen Faktoren, wenn die Upsalaer Forscher nur die physikalisch-chemischen als solche gelten lassen und die biotischen als eine besondere Gruppe betrachten; alles, was mit dem Konkurrenzkampf der Arten und Vereine zusammenhängt, gehört zweifellos ebenfalls in das Gebiet der Ökologie, und ebenso ist es eine selbstverständliche Forderung, daß für diese nicht nur die ökologischen Bedürfnisse der Arten, sondern auch ihre biologischen Fähigkeiten in Betracht zu ziehen sind. Die schon von *Flahault* und *Schröter* erhobene, von den schwedischen Forschern erneut mit scharfer Betonung ausgesprochene Forderung, bei pflanzensoziologischen Untersuchungen rein induktiv zu verfahren und nur von der Vegetation auszugehen, wird hierdurch selbstverständlich nicht berührt; aber eine Berücksichtigung des ökologischen Wesens der Pflanzengesellschaften sowohl bei der Feldarbeit wie bei der Bearbeitung des bei dieser gewonnenen Materials heißt doch noch nicht, die in der Natur gegebenen Erscheinungen in den engen Rahmen willkürlicher Konstruktionen einzwängen zu wollen.

Was dann ferner den Assoziationsbegriff angeht, so scheint die bisherige Entwicklung fast jener skeptischen Ansicht recht zu geben, die die Möglichkeit einer präzisen Fassung derselben verneint. Der sehr engen Fassung bei den schwedischen Autoren steht die erheblich weitere von *Braun-Blanquet* und die noch umfassendere von *Cajander* gegenüber, welche letzterer die Assoziation als eine Zusammenfassung von Pflanzenvereinen definiert, in denen dieselbe Pflanzenart oder dieselben Pflanzenarten in der maßgebendsten Vegetationsschicht vorherrschend sind (z. B. Wälder der gemeinen Kiefer). Eine zu enge Umgrenzung des Begriffes wird jedenfalls nicht angebracht sein; denn darin ist *Braun-Blanquet* jedenfalls im Recht, wenn er sich dagegen wendet,

als grundlegende Einheit die kleinste zu wählen. Unbeschadet des eingehenden Studiums, das gerade auch die kleinsten Einheiten verdienen, wird die zusammenfassende Bearbeitung sowohl nach der ökologischen wie nach der gesellschaftsmorphologischen Seite hin vor allem die größeren Richtlinien ins Auge fassen müssen, denn darin, daß die Assoziation eine abstrakte und nicht eine konkrete Einheit ist, ist *Braun-Blanquet* und *Cajander* unbedingt recht zu geben, während die Einwendungen von *Du Rietz* gegen den Begriff „pflanzensoziologisches Individuum“ kaum als stichhaltig erscheinen. Bei nicht zu enger Fassung des Assoziationsbegriffes — für den Versuch, für eine solche etwa doch eine zweckentsprechende Formulierung zu finden, ist hier selbstverständlich nicht der gegebene Ort — wird sich dann allerdings das Bedürfnis nach einer untergeordneten Einheit herausstellen, wofür der von *Drude* geprägte Terminus „Elementarassoziation“ wohl geeignet erscheint. Soweit gesellschaftsmorphologische Merkmale für die Kennzeichnung der Assoziationen herangezogen werden, wird man, ähnlich wie in der Systematik der Sippen, die Heranziehung des gesamten Merkmalskomplexes verlangen müssen; es kann sehr wohl in dem einen Fall das eine, in dem anderen Fall das andere erhöhte Bedeutung besitzen. Allerdings kommt wohl dem Konstanzbegriff eine Sonderstellung zu; bei der Ermittlung der Konstanten muß den oben angegebenen, von *Braun-Blanquet* hervorgehobenen Gesichtspunkten und seinen sicher großenteils stichhaltigen Einwendungen gegen die Quadratzahlmethode der Upsalaer Pflanzensoziologen Rechnung getragen werden. Überhaupt scheint mir auf Seiten der letzteren eine gewisse Überschätzung des Wertes rein statistischer Methoden vorzuliegen; die Bedeutung z. B., die eine Art für eine bestimmte Pflanzengesellschaft besitzt, kann doch dadurch nicht ernstlich alteriiert werden, daß es gelingt, in einer Probefläche, in der sie zu fehlen schien, von ihr nach langem Suchen doch noch ein zuerst übersehenes, winziges Individuum zu entdecken und sie dadurch vielleicht aus der 89 %- in die 91 %-Klasse zu bringen, und ganz allgemein wird man mit *Diels* die Frage aufwerfen dürfen, ob nicht die durch Auszählung von Probeflächen ermittelten Resultate oft nur eine scheinbare Exaktheit besitzen, und ob die beträchtliche aufgewandte Mühe wirklich entsprechend belohnt wird. Übrigens überrascht es gegenüber der sonstigen weitgehenden Verwendung statistischer Methoden, daß die schwedischen Autoren die Begriffe „Variante“ und „geographische Fazies“ einer Assoziation nicht mit ihrer Hilfe schärfer zu bestimmen versuchen. Aber auch wenn man der Konstanz eine erhöhte Bedeutung zuerkennt, wird man doch mit *Braun-Blanquet* die Zeit noch nicht für gekommen erachten, generelle Konstanzgesetze aufstellen und solche sogar zur bindenden Grundlage des Assoziationsbegriffes machen zu wollen; dazu



sind erst noch Vegetationsuntersuchungen in den verschiedensten Gebieten notwendig.‘ Übrigens sei in diesem Zusammenhang erwähnt, daß *Ilvesalo* bei seinen vegetationsstatistischen Untersuchungen über die finnländischen Waldtypen bedeutende Abweichungen von dem von den schwedischen Autoren aufgestellten Gesetze der Konstitution gefunden hat, so daß die für dasselbe beanspruchte Allgemeingültigkeit dadurch schon aufgehoben erscheint.

Von der mehr oder weniger weiten Fassung des Assoziationsbegriffes wird sehr wesentlich die Bedeutung abhängen, die dem Braunschen Begriff der Charakterarten beizumessen ist; eine geeignete und ausreichende Grundlage für die Assoziationsbegrenzung vermag ich ihm aber in keinem Falle zuzugestehen. Denn wenn *B.* sich dahin äußert, eine Art könne physiognomisch eine völlig untergeordnete Rolle spielen, nur ganz sporadisch und vereinzelt vorkommen und dennoch vermöge ihrer Gesellschaftstreue den vollkommenen Ausdruck der gegebenen Faktoren verkörpern, so erscheint das als eine höchst unwahrscheinliche, um nicht zu sagen ungereimte Hypothese; es wäre dann z. B. die Zwergbirke, die in Mitteleuropa nur in gewissen nassen Sphagnetummooren vorkommt, als Charakterpflanze derselben anzusprechen, eine wohl kaum annehmbare Konsequenz. Mindestens die Bezeichnung „Charakterarten“ muß dann eine wenig glückliche genannt werden. Auch ist zu beachten, daß vielen wohlumschriebenen Pflanzengesellschaften, insbesondere unter den Moorpflanzenvereinen, Komponenten wenigstens der beiden obersten Treuegrade abgehen. Stärker als für die Assoziationen mag das Merkmal der Gesellschaftstreue für höhere Vegetationseinheiten ins Gewicht fallen; auch für chorologische Gesellschaftsstudien, die das Verhalten einer Pflanzengesellschaft über ihr ganzes Ausbreitungsgebiet verfolgen, besitzt es eine gewisse Bedeutung entsprechend dem verschiedenen Verhalten der Arten in verschiedenen Gebieten mit wechselnden ökologischen Bedingungen. Gegenüber der Gesellschaftstreue scheint mir *Braun-Blanquet* die aus der quantitativen Gesellschaftsanalyse zu schöpfenden Merkmale zu gering zu bewerten, da sich in ihnen immerhin auch in vielen Fällen, wenn auch nicht immer, wichtige Züge verkörpern können; überhaupt dürfte die Sache bei den Pflanzengesellschaften nicht viel anders liegen als bei den Arten der Sippensystematik, daß nämlich die Wertigkeit der Merkmale, seien sie ökologischer oder gesellschaftsmorphologischer Natur, sich nicht ein für allemal in eine generelle Stufenleiter bringen läßt, sondern die Entscheidung darüber nur von Fall zu Fall geregelt werden kann.

Wie bei den Assoziationen, wird auch bei ihrer Zusammenfassung zu Formationen der Berücksichtigung des ökologischen Momentes ausschlaggebende Bedeutung beizumessen sein, so wie sie etwa den Definitionen von *Flahault-Schröter* und

*Drude* vorschwebt. In einer Begründung des Formationsbegriffes lediglich auf die Physiognomie, sofern diese nicht in nachweisbar enger Beziehung zur Ökologie steht, vermag ich keine Zusammenfassung wirklich verwandter Erscheinungen zu erblicken. Von den Formationen werden von den schwedischen Soziologen mit Recht die „Assoziationskomplexe“ scharf geschieden, d. h. mosaikartige Kombinationen von Siedlungen verschiedener Assoziationen zu natürlichen Einheiten höheren Ranges, wie sie z. B. in den Hochmooren vorliegen und in der Regel durch mosaikartige Anordnung der Standorte bedingt sind. In solchen Komplexen liegen wirklich natürliche topographische Vegetationseinheiten vor, während ich der Scheidung von ökologischen (Synusien = Lebensformenkomplexe) und topographischen (Biocönosen = Gesamtheit der auf einem einheitlichen Standort enthaltenen Vegetation) Einheiten in dem Sinne, wie sie *Gams* in seiner sonst in vielfacher Hinsicht recht wertvollen Arbeit durchführt, nicht beizupflichten vermag; übrigens dürfte auch der Versuch dieses Autors, fast die gesamten pflanzensoziologischen Termini durch neue zu ersetzen, wenig Aussicht auf Erfolg haben.

Eine letzte Frage endlich, die in den angeführten Arbeiten mehr oder weniger ausführlich erörtert wird, ist die nach einem „natürlichen System“ der Pflanzengesellschaften. Ihr soll hier nicht näher nachgegangen werden, weil zur Schaffung eines endgültigen Systems die Zeit schwerlich schon als gekommen erachtet werden, es sich demgemäß zunächst nur um provisorische Lösungen der Frage handeln kann, bei denen sowohl dem Ziel und Gegenstand der jeweiligen besonderen Untersuchung, die zur Aufwerfung der Frage führt, wie auch dem persönlichen Standpunkt des Autors hinsichtlich der grundlegenden pflanzensoziologischen Fragen entscheidendes Gewicht zufällt; es genüge deshalb, mit *Cajander* zu betonen, daß ein natürliches System nur unter Berücksichtigung der ökologisch-biologischen Eigenschaften der Vegetation aufgebaut werden kann.

#### Literatur.

- Braun-Blanquet, J.* 1. Eine pflanzengeographische Exkursion durchs Engadin und in den schweizerischen Nationalpark. — Pflanzengeogr. Komm. d. Schweiz. Naturf.-Gesellsch. Beiträge zur geobotanischen Landesaufnahme 4. Zürich 1918.  
— 2. Prinzipien einer Systematik der Pflanzengesellschaften auf floristischer Grundlage. — Jahrb. St. Gallischen Naturw. Gesellsch. 57, II. Teil, 1921, S. 305—351.  
*Cajander, A. K.* Zur Begriffsbestimmung im Gebiete der Pflanzentopographie. — Acta Forestalia Fennica XX, Helsingfors 1922, 8 S.  
*Cajander, A. K.*, u. *Ilvesalo, Y.* Über Waldtypen II. — Acta Forestalia Fennica XX, Helsingfors 1921, 77 S.  
*Drude, O.* Die Elementar-Assoziation im Formationsbilde. — Ber. d. Freien Vereinigung f. Systematik u. Pflanzengeogr. Berlin 1918, S. 45—82.  
*Du Rietz, G. E.*, *Fries, Th. C. E.*, u. *Tengwall, T. A.*, Vorschlag zur Nomenklatur der soziologischen

- Pflanzengeographie. — Svensk Bot. Tidskr. *XII*, 1918, S. 145—170.
- Du Riets, G. E., Fries, Th. C. E., Oswald, H., u. Tengwall, T. A.*, Gesetze der Konstitution natürlicher Pflanzenvereine. — Vetenskapl. och prakt. unders. i Lappland, anordn. av Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag. Flora och Fauna 7, Upsala u. Stockholm 1920, 47 S.
- Du Riets, G. E.*, Zur methodologischen Grundlage der modernen Pflanzensoziologie. — Upsala 1920, 4°, 272 S.
- Flahault, Ch., u. Schröter, C.*, Phytogeographische Nomenklatur. Berichte u. Vorschläge. — Zürich 1910, 28 u. X S.
- Gams, H.*, Prinzipienfragen der Vegetationsforschung. — Vierteljahrsschr. Naturf. Gesellsch. Zürich *LXIII*, 1918, S. 293—493.
- Iivessalo, Y.*, Vegetationsstatistische Untersuchungen über die Waldtypen. — Acta Forestalia Fennica *XX*, Helsingfors 1922, 73 S.
- Rübel, E.*, 1. Die Entwicklung der Pflanzensoziologie. — Vierteljahrsschr. Naturf. Gesellsch. Zürich *LXV*, 1920, S. 573—604.
- , 2. Über die Entwicklung der Gesellschaftsmorphologie. — Journ. of Ecology *VIII*, 1920, S. 18—40.

### Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

In der Sitzung am 4. März machte zunächst Herr Oberlandmesser *Lips* an der Hand zahlreicher Modelle einige kurze Mitteilungen über Hochbilder nach dem sogen. *Wenschow*-Verfahren. Während bei allen bisher angewendeten Methoden zur Reliefherstellung die Karte lediglich als Vorlage für die Geländegestaltung diente, der das Relief aus Holz, Pappe, Gips oder dgl. nachgebildet werden mußte, formt der Bildhauer *Wenschow* (Kartogr. Reliefges. München) die Karte selbst zum Hochbild um. Die Karte wird zur Oberfläche des maßstabgetreuen Reliefs. Als weitere Vorteile gesellen sich hinzu die Möglichkeit, jedes Relief in beliebiger Zahl zu vervielfältigen, sowie die — bei sehr geringem Gewicht — außerordentlich große Haltbarkeit.

Den Hauptvortrag des Abends hielt Herr Prof. Dr. *Erich Kaiser* (München) über **das Leben der Wüste in Südwestafrika**, ein Thema, dessen Worte sich zu widersprechen scheinen, da im allgemeinen unter „Wüste“ ein absolut wasser- und demzufolge pflanzen- und tierloses, ein „totes“ Gebiet verstanden wird. Wer eine Wüste jedoch selbst gesehen, wird bezeugen, daß sie keineswegs „tot“ ist, daß sie vielmehr eine Fülle von Eindrücken übermittelt. Den Morphologen und Geologen interessiert zunächst die anorganische Oberfläche mit ihren eigenartigen Verwitterungsformen, hervorgerufen durch die besonderen klimatischen Verhältnisse.

In einer für den Europäer unvorstellbaren Klarheit leuchtet der Himmel, ungehindert fallen die Sonnenstrahlen auf die Erde, ihre hohe Intensität zermürbt und zersprengt die Gesteinshülle. Selten — in Jahren oft nur einmal — wird diese solare mechanische Verwitterung unterbrochen bzw. abgelöst durch Niederschläge, die dann jedoch — in Form von Wolkenbrüchen niederprasselnd — für kurze Zeit eine gewaltige Denudations- und Erosionskraft entfalten. Weniger imposant, aber kaum weniger energisch ist die chemische Tätigkeit des Wassers. Oberflächlich und in die durch die Sonnenstrahlen erzeugten Gesteinsrisse eindringend, löst es die Bindemittel der Gesteinsbestandteile, eine weitere Lockerung und Zertrümmerung der Gesteinsdecke ist die Folge. Aber erst durch Mitarbeit des Windes, des wichtigsten klima-

tischen Faktors arider Gebiete, kommen die großartigen Wüstenformen zur vollen Ausbildung. Nicht besondere Stärke — die im ehemaligen Deutsch-Südwest-Afrika vorherrschend gefundenen Windgeschwindigkeiten von 5—10 m/sec sind geringer, als bei uns z. B. am Brocken — sondern die Gleichmäßigkeit, mit der der Wind jahraus, jahrein über den wenig oder gar nicht von Vegetation geschützten Boden streicht, läßt ihn den überragenden Einfluß bei der mechanischen Verwitterung gewinnen, läßt ihn Rippelmarken, Sandverwehungen, Barchane, Sichel- und Wanderdünen von ungleich größeren Dimensionen schaffen, als wir sie von unseren Küsten oder sandbedeckten und vegetationsarmen Binnengebieten kennen. Am großartigsten offenbart sich die denudierende und erodierende Kraft des Windes dort, wo die chemische Verwitterung vorgearbeitet und wo festes Gestein weniger widerstandsfähiges umgibt. Mächtige Wannen usw. kommen hier zur Ausbildung, ja lange parallele Reihen, solcher Hohlformen können entstehen, wenn, wie in Deutsch-Südwest-Afrika, die Faltung des anstehenden Gesteins in der Windrichtung liegt. So sind auch die kleinen Buchten bei Lüderitzbucht durch chemische Verwitterung und Deflation erzeugte Wannen, die schließlich unter den Meerespiegel tauchten.

Nicht minder eigenartige Ausbildung als die anorganischen zeigen auch die organischen Formen, die spärlich vertreten sind, jedoch keineswegs völlig fehlen. Ein einzelner plötzlicher Regenguß bleibt zwar ohne Einfluß, verdunstet, folgen sich aber zwei und mehr, dann erscheinen bald weite Gebiete im Schmucke eines bunten, in seinem Bau hochgradig der Wasserarmut angepaßten Pflanzenkleides, das seinerseits die Tierwelt in großer Fülle anlockt. Und wo hier und dort eine Quelle das lebensnotwendige Wasser darbietet, hat auch der Mensch Fuß gefaßt. In Sippen zusammengeschlossen, deren jede — nach einem ungeschriebenen Gesetz — über ein bestimmtes Gebiet verfügt, lebt der Eingeborene, dessen charakteristische Eigenschaften — unnachahmliche Ausdauer, ungezählter Freiheitsdrang, Scheu und Stolz — aus der Landschaft zu erklären sind, ähnlich wie sich beim Weißen durch den mangelnden Wechsel der Jahreszeiten der Hang zur Einsiedelei oder Arbeitsscheu entwickelt. *H. Heyde*.

In der Fachsitzung am 20. März 1922 hielt Herr Geheimrat *A. Penck* (Berlin) einen Vortrag über **die jüngsten Hebungen der Alpen**.

Die Bewegungen der Erdkruste, welche zur Auf-faltung der Alpen führten, haben in der Tertiärzeit nicht ausgesetzt, sondern dauerten auch in der Eiszeit an und setzen sich bis zur Gegenwart fort. Genaue Höhenmessungen durch Feinnivellement, die 1906 bis 1915 in Bayern ausgeführt wurden, haben den Beweis erbracht, daß das Alpenvorland östlich von München in 45 Jahren um 83 mm gesunken ist. Allerdings erscheinen die quartären Schichtenstörungen anders als die tertiären, denn sie äußern sich nicht in einer Zusammenstauchung der Schichten, sondern in einem flachen Faltenwurf. Namentlich bei den Schotterdecken zwischen Iller und Lech konnten schon zu Anfang dieses Jahrhunderts mehrere Sättel und Mulden unterschieden werden, die auf Falten hindeuten, deren Streichen parallel zum Alpenrande erfolgt. *Rothpletz* stützt seine abweichende Anschauung nicht auf anstehendes Gestein, sondern auf gerutschte Ablagerungen. Im Rheintale unterhalb des Bodensees hat der Vortragende bei Eglisau das Gelände im Maßstabe 1 : 25 000 aufgenommen und dabei alte Rheinschotter, staffelförmig in Treppenstufen abgesetzt, gefunden. Hier ist eine Bewegung von schmalen Streifen erfolgt.



Nicht nur geologische, sondern auch morphologische Untersuchungen tragen zum Verständnis der Tektonik der Alpen bei. *Albert Heim* glaubt an ein Rüksinken des durchtaltalen Alpenk6rpers, das ein Ertrinken der Flußtäler in ihrem eigenen Wasser und die Entstehung der herrlichen schweizerischen Alpenseen zur Folge hatte<sup>1)</sup>. Es ist jedoch nicht einzusehen, weshalb das Einsinken erst so spät erfolgte.

Dem Vortragenden gelang es bei der Untersuchung des präglazialen Talbodens dessen Ansteigen in den Alpen festzustellen. Er ist also nicht zurücksunken, sondern nach dem Zusammenschub gehoben. Für die großen interglazialen Schottermassen in den Alpentälern stellte *Amperfer* eine tektonische Hypothese auf. Er nimmt an, daß die Täler während des Einbiegens verschüttet worden sind. Die Schottermassen liegen aber in den Tälern nicht unten, sondern oben. Es muß also später eine Erhebung gefolgt sein. Eine eindeutige Erklärung ist z. Zt. noch nicht möglich, denn man kann die Schotteranhäufung auch anders, z. B. durch Annahme eines Trockenklimas erklären.

Vielfach zeigen auch die Besonderheiten der geologischen Schichten, daß sie unter anderen Verhältnissen als den heutigen zur Ablagerung gelangten. Am Nordsaum der Alpen, zwischen Inn und Salzach, sowie im Klagenfurter Becken finden sich Ablagerungen von Seen in größeren Höhen als das nördlich vorgelagerte Land. Sie gehören der vorletzten Interglazialzeit an. Die Höhe des ehemaligen Seenspiegels läßt sich aus der Grenzlinie zwischen den schräg einfallenden lakustren Deltaablagerungen und den horizontalen fluviatilen Schichten ableiten.

Die 300 m hohen Aufschüttungen der Inntal-Terrasse bei Zirl bestehen im wesentlichen aus einem Delta, welches die, aus dem Sellraintale kommende Melach in einen alten Inntalsee gelagert hat. Darüber breiten sich diskordant Flußschotter. Die Grenze zwischen beiden Schichten, die den alten Seespiegel kennzeichnet, liegt 790 m hoch über dem Meeresspiegel. Am sogenannten Engländergrab bei Innsbruck liegen alte Deltas in 700 m und noch weiter talabwärts an der Mündung des Vompser Baches in 680 m Höhe. Über den Deltaschichten lagern Innschotter der letzten Interglazialzeit. Der Spiegel des alten Inntalsees senkt sich also erst langsam, später in zunehmendem Maße alpenauswärts, schließlich bis 500 m Meereshöhe. Weiterhin findet sich keine Spur mehr von ihm. Er reichte nicht bis Kufstein, hatte aber doch eine Gesamtlänge von 70–80 km.

Auch im Isartale finden sich ähnliche Aufschlüsse. Bei Mittenwald liegt der alte Seespiegel in 950 m, bei Wallgau in 900 m, bei Vorderriß in 800 m, bei Tölz schließlich in 700 m Höhe. Da man annehmen muß, daß es sich im Inn- und Isartal um einheitliche Seen handelte, so muß jenes Delta in der letzten Interglazialzeit horizontal gelegen haben. Es hat also eine Schrägstellung der durch sie angezeigten alten Seespiegellinie durch Hebung der Alpen stattgefunden, was eine Krustenbewegung von recht stattlichem Ausmaß bedeutet.

Andrerseits steht die Bildung des alten Inntalsees mit einer Senkung in Beziehung. Subaeril entstandene Ablagerungen sind unter den alten Inntalsee getaucht worden. Es haben also in den Alpen *Schwingungen der Erdkruste* stattgefunden, so wie sie *Amperfer* zur Erklärung der interglazialen Schotterablagerungen angenommen hat. Derartige Schwingungen scheinen

sich mit der Übertiefung der Alpentäler verbinden zu müssen, wenn es zur Entstehung von großen Talseen kommen soll, denn diese ist nicht überall in den übertieften Alpentälern durch die Übertiefung bedingt. Das verschiedene Verhalten einzelner Alpentäler in bezug auf das Seenphänomen in Raum und Zeit wurde von dem Vortragenden eingehender erörtert.

Sicher bestehen Beziehungen zwischen den Schwingungen und der Eiszeit, aber worin sie bestehen, ist zunächst noch unbekannt. Möglicherweise kommt hier die Belastung der Unterlage durch die Eismassen, vielleicht auch deren abkühlender Einfluß auf das Gestein in Frage. Die Schwingungen der beiden Interglazialzeiten finden ihr gewaltiges Gegenstück in Skandinavien, wo die Amplitude mehrere hundert Meter beträgt. Aber dort ist das Phänomen jünger und die Einheitlichkeit größer. Die ganze alte Scholle Fennoskandia ist noch heute in Hebung begriffen. In den Alpen ist der Vorgang viel komplizierter, weil sich die Schwingung mit den tektonischen Bewegungen paart.

In der Sitzung am 1. April 1922 wurde von verschiedenen Rednern **der augenblickliche Zustand unserer Kolonien** geschildert. Alle stimmten darin überein, daß der blühende Zustand, den sämtliche Schutzgebiete unter deutscher Verwaltung erreichten, unter der jetzigen Fremdherrschaft einem bedauerlichen Rückgang Platz gemacht hat, der sowohl das Wirtschaftsleben als auch das Schulwesen, die Missionstätigkeit, den Gesundheitszustand, die Rechtspflege usw. betrifft. Von den Berichterstattern wurden als Beweis dafür zahlreiche Einzelheiten angeführt, die teils ausländischen neutralen und feindlichen Quellen entnommen waren, teils auf eigenen Beobachtungen beruhten.

Geheimrat *Brandes* berichtete über Ostafrika, Geheimrat *von Zastrow* über Südwestafrika und Major *Detzner* über Kamerun, Togo und die Südseegebiete. In der Fachsitzung am 24. April 1922 hielt Professor *A. Rühl* (Berlin) einen fein durchdachten und formvollendeten Vortrag über **den spanischen Nationalcharakter in seinen Beziehungen zum Wirtschaftsleben**. Er ging davon aus, daß die Wirtschaftswissenschaften sich viel zu wenig mit dem wichtigsten Wirtschaftsfaktor, nämlich dem menschlichen Subjekt selbst, beschäftigen. Es gibt keinen durchschnittlichen homo oeconomicus, wie ihn sich die Nationalökonomie konstruiert hat, sondern eine große Anzahl Typen von Wirtschaftsmenschen.

Von solchen schilderte der Vortragende den Spanier, der sich in seiner Wirtschaftsgesinnung und in der Bewertung wirtschaftlicher Faktoren in grundlegender Weise von den übrigen Europäern unterscheidet. Diese Eigenart ist geographisch und historisch bedingt.

Die Zeit der arabischen Herrschaft rief in Spanien eine wirtschaftliche Blüte hervor, die später nie wieder erreicht wurde. Durch Einführung der künstlichen Bewässerung, Ausnutzung der Mineralschätze, Veredelung der Metallindustrie entwickelte sich ein erheblicher Wohlstand, vor allem im Süden des Landes, der Jahrhunderte lang von Krieg verschont blieb.

In Kastilien entstand der Typus des Hidalgo, jenes stolzen spanischen Ritters, der seine Lebensaufgabe in dem Kampf gegen die Ungläubigen erblickte, und dem es auch gelang, das Land von der Herrschaft der Mauren zu befreien. Aber der Hidalgo war einer nützlichen arbeitsamen Friedentätigkeit abhold. In jener Zeit, in welcher die Tätigkeit des Wiederaufbaues hätte beginnen sollen, setzte die spanische Weltpolitik, die Entdeckung und Eroberung Amerikas ein. Energische und unternehmende Abenteurer wanderten nach Amerika aus und siedelten sich daselbst an. Die großen Reich-

<sup>1)</sup> Vgl. Der Mechanismus der Gebirgsbildung nach *Albert Heim*. Die Naturwissenschaften 1931, Jahrg. 9, S. 369–371.



tümer, welche man in den neuen Ländern fand, ermöglichten ein sorgloses Leben. Aber die Schätze strömten auch nach Spanien, wo die Preise vielfach auf das Dreifache stiegen und das Land sich infolge der Auswanderung nach Amerika zu entvölkern begann. Man kann geradezu sagen, daß die Entdeckung Amerikas den Ruin Spaniens verschuldet hat. Die zu Anfang des 17. Jahrhunderts erfolgte Vertreibung der Reste von Mauren, die sich noch in Spanien befanden, beraubte das Land der letzten arbeitsfreudigen Menschen. Hídalgos und Konquistadoren beherrschten das Feld, und damit war der Ruin besiegelt. Der Ackerbau wurde vielfach zugunsten der Schafzucht aufgegeben. Die Schafe durchgezogen in großen Herden das Land und fraßen die Ernte weg. Die Regierung legte den Einwohnern unerhörte Steuern auf, ohne sich um die Produktion zu kümmern. Dabei gab es 93 Feiertage im Jahre, deren jeder einen Arbeitswert von 16 Millionen Realen hatte. Das Elend wurde schließlich im 17. Jahrhundert so groß, daß Morde auf offener Straße wegen eines Brotes vorkamen. Eine im Jahre 1787 vorgenommene Volkszählung ergab, daß nur ein Fünftel der Bevölkerung einen erwerbsfähigen Beruf hatte.

Das Ziel des Daseins ist beim Spanier auf Muße gerichtet. Er hat keinen Sinn für den Wert der Arbeit und der Zeit. So kommt es, daß auf vielen Bahnhöfen weder Fahrpläne noch Bahnhofsuhren vorhanden sind. Auch das Geld nimmt eine andere Stellung ein. Es ist als Klassenbildner weitgehend ausgeschaltet, und Verletzungen der Ehre etwa durch Geld sühnen zu wollen, ist ein für den Spanier unmöglicher Gedanke. Erworbener Reichtum erhöht nicht das gesellschaftliche Ansehen. Ein gentleman kann man werden, ein caballero muß man sein.

Dazu kommt beim Spanier ein Nationalstolz, durch den er sich von dem übrigen Europa abschließt. Der Ausländer ist nur erwünscht, wenn er Arbeit übernimmt. Daher hat ausländisches Kapital sich vornehmlich der Bodenschätze bemächtigt. Etwa zwei Drittel des Kapitals der Minenindustrie ist fremdes Eigentum.

Die letzte Berufszählung ergab bei einer Einwohnerzahl von 20 Millionen rund 4 Millionen für die Landwirtschaft, 1 Million für Industrie und Bergbau, dagegen 6 Millionen für unproduktive Tätigkeit und 1 Million ohne Berufsangabe.

Spanien besitzt große natürliche Bodenschätze. Bedeutend sind die Mineralreichtümer von Kohle und Salz bis zu den Edelmetallen hinauf. Aber sie werden nicht ausgenutzt, denn von 22 000 erteilten Konzessionen sind nur 1790 im Betrieb. Alle europäischen und subtropischen Gewächse, ja sogar manche tropische Pflanzen gedeihen im Lande. Doch ist die Hälfte des Bodens un bebaut und die Weizen erträge sind so niedrig wie in keinem anderen Lande Europas.

Die Landesprodukte werden nicht verfeinert. Wein und Öl gelangen roh zur Ausfuhr und werden vielfach erst in Frankreich einem Veredelungsprozeß unterworfen.

Das Verkehrswesen, Eisenbahn, Post, Telegraph zeigt völlig unentwickelte Züge.

Von den beiden Übeln Arbeit und Armut hat der Spanier das letztere gewählt und seine Lebensansprüche auf ein sehr geringes Maß herabgeschraubt. Die Willenskraft des Volkes ist gebrochen und das Vertrauen auf die eigene Kraft geschwunden. Erst in neuester Zeit hat die Hochkonjunktur des Weltkrieges das Wirtschaftsleben wieder gehoben. Der neue Reichtum betätigt sich in Plänen für große wirtschaftliche

Reformen, insbesondere für Schaffung von Bewässerungsanlagen und Verbesserung des Verkehrswesens. Man darf gespannt sein, ob die Welle des Arbeitswillens, die heute Europa durchflutet, auch Spanien erfassen oder sich an dem Wall der Pyrenäen brechen wird. O. B.

## Astronomische Mitteilungen.

Introduction to Stellar Statistics (Charlier, Lund 1921). Diese Einführung in die Probleme der modernen Stellarastonomie ist nur ein Vorläufer der „Lectures on Stellar Statistics“ des gleichen Verfassers, die als unter der Presse befindlich angekündigt sind. Es ist, um das Gesamturteil gleich vorwegzunehmen, ein Genuß, den geistreichen Ausführungen Charliers zu folgen, die hier ganz auf einen allgemeinen Leserkreis zugeschnitten sind, unter Vermeidung all des mathematischen Beiwerkes, das sonst zuweilen sogar den Fachastronomen vom Studium der Arbeiten der Charlierschen „Schule“ abschreckt. Der Inhalt des nur 50 Seiten starken Quartheftes gliedert sich in drei Abschnitte.

Im ersten Kapitel — apparent attributes of the stars — werden behandelt: scheinbarer Sternort, in stellarastronomischen Arbeiten zweckmäßig auf die Milchstraße bezogen, Entfernung (Parallaxe), Eigenbewegung und Radialbewegung, Helligkeit, Farbe, Spektrum, letztere drei Eigenschaften bei weitem am ausführlichsten besprochen. Als Aufgabe der Stellarastonomie wird mit kurzen Worten definiert: aus den scheinbaren Eigenschaften der Sterne ihre wahren Eigenschaften abzuleiten. Diese sind die Lage im Raum, die Bewegung und die physikalische Natur der Sterne.

Das kurze zweite Kapitel — sources of our present knowledge of the stars — stellt die wichtigsten Kataloge zusammen, in denen man die genannten scheinbaren Eigenschaften für größere Anzahlen von Sternen verzeichnet findet. Es ist keine umfassende Bibliographie, sondern nur ein Hinweis auf das Notwendigste.

Der Inhalt des dritten Kapitels — some groups of known stars — ist in der Hauptsache in 5 Tabellen komprimiert. Diese enthalten der Reihe nach: die scheinbar hellsten Sterne (20 Sterne von der Größe  $-1,6$  bis  $+1,5$ ), die Sterne mit den größten Eigenbewegungen (von Barnards Stern mit  $\mu = 10,3$  bis zu van Maanens Stern mit  $\mu = 3,0$ , im ganzen 18), die Sterne mit den größten Radialbewegungen (18 Sterne von 72 km/sec bis 30 km/sec), die uns nächsten Sterne, d. h. die Sterne mit den größten Parallaxen (innerhalb der Kugel mit dem Radius  $\pi = 0,22$  deren 23) und schließlich die absolut schwächsten Sterne (19 an der Zahl von  $M = 13,9$  bis  $M = 9,0$  in der von Charlier stets benutzten Entfernungseinheit, dem „Siriometer“, entsprechend der Parallaxe  $0,206$ ). An diese Tabellen knüpfen sich verschiedene Betrachtungen an, deren interessanteste, weil von der allgemein herrschenden Ansicht wesentlich abweichend, sich im Abschnitt 34 vorfindet: Charlier betrachtet die Teilung der Sterne in Zwerge und Riesen als eine nur scheinbare, vorgetäuscht durch die beiden Auswahlprinzipien, welche bei den Parallaxenbestimmungen maßgebend waren, Helligkeit und Eigenbewegung der Sterne.

Dem Heft sind noch 4 Tafeln beigegeben, von denen die erste eine sehr schöne und brauchbare graphische Darstellung zur Umwandlung äquatorealer in galaktische Koordinaten enthält, während die dritte die Normalspektren der Harvardklassen B, A, F, G, K, M in guter Reproduktion veranschaulicht. Kienté.





# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.  
Copyright 1922 by Julius Springer in Berlin.

Heft 27. (Seite 585—604.)

7. Juli 1922.

Zehnter Jahrgang. *Abteilung 1*

## INHALT:

Über Hörbigers Glazialkosmogonie. Von *A. Prey*,  
*Prag*. (Mit 4 Abbildungen.) S. 585.

Überpflanzungen von Organen. Von *Otto Kestner*,  
*Hamburg*. S. 592.

Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und  
heterochromen Photometrie. Von *C. Pulfrich*,  
*Jena*. (Mit 3 Abbildungen.) S. 596. (Fortsetzung.)

### Besprechungen:

Abel, O., Lebensbilder aus der Tierwelt der Vor-  
zeit. Von *Fr. Drevermann*, *Frankfurt a. M.* S. 601.

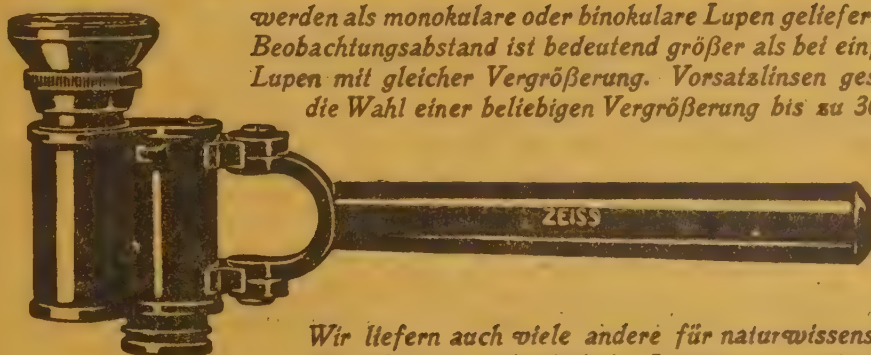
Engler, A., Das Pflanzenreich. Heft 76—80. Von  
*W. Wangerin*, *Danzig-Langfuhr*. S. 601.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:  
Vom Hören der Insekten (Bienen). Von *Ludwig*  
*Armbruster*, *Berlin-Dahlem*. S. 602.

Mitteilungen aus verschiedenen biologischen Ge-  
bieten. S. 603—604.

Über die Bildung einer Assoziation beim Regen-  
wurm auf Grund von Dressurversuchen. Über  
die flächenhafte Verbreitung der Pigmente in  
der Haut bei Menschen und Affen.

## ZEISS Fernrohr-Lupen



werden als monokulare oder binokulare Lupen geliefert. Der  
Beobachtungsabstand ist bedeutend größer als bei einfachen  
Lupen mit gleicher Vergrößerung. Vorsatzlinsen gestatten  
die Wahl einer beliebigen Vergrößerung bis zu 30 fach.

Wir liefern auch viele andere für naturwissenschaft-  
liche Zwecke erforderliche Instrumente, wie Mikro-  
skope, Einschlaglupen usw.

Druckschriften und  
Auskunft durch:

**CARL ZEISS, JENA**

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 100.— für das dritte Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 9.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 9.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20120 Julius Springer,  
Konten: für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

## Voigt & Hochgesang Göttingen

**Fabrik f. Dünnschliffe,  
Kristallpräparate von  
eigenem, sowie von  
geliefertem Material.**

(260)

Schul- und Studiensammlungen von ersten Fachleuten der Wissenschaft zusammengestellt. Kataloge stehen kostenfrei zur Verfügung.

## Mineralien, Kristalle und Gesteine

einzeln und in ganzen Sammlungen.

Spez.: Vogtl. u. sächs. Vorkommen, sowie Graptolithen offeriert preiswert und in reicher Auswahl

**Mineralien-Niederlage A. Jahn**

Plauen i. V., Oberer Graben 9 (259)

Vor kurzem erschien:

**Vorlesungen über Pharmakologie der Haut.**

Von Professor Dr. Friedrich Luithlen, Wien  
(VI, 88 S.) 1921

Preis M. 18.— (und Teuerungszuschlag)

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Die Anschaffung des (258)

## Handwörterbuchs der Naturwissenschaften

10 Bände in Halbleder 6000 M., Auslandspreis 18 000 M. erleichtert durch Verteilung des Betrages auf mehrere Jahre oder Amortisation in 10% Monatsraten. Das Werk wird sofort vollständig geliefert.

**H. Meusser, Buchhandlung  
Berlin W 57/9, Potsdamer Straße 75**



## Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

**zu Kaufen gesucht.** Angebote unter  
Nw. 236 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W9

# Die Brille als optisches Instrument

Von

**Moritz von Rohr**

Professor in Jena, Dr. phil., wissenschaftlichem Mitarbeiter bei Carl Zeiß in Jena

Dritte Auflage. Mit 112 Textabbildungen. (XIV, 254 S.)

(Aus Graefe-Saemisch, Handbuch der gesamten Augenheilkunde.) 1921

Preis M. 66.—\*; in Ganzleinen gebunden M. 78.—\*

\* Hierzu Teuerungszuschlag



## Über Hörbigers Glazialkosmogonie.

Von A. Prey, Prag.

Der Grundzug des Werkes<sup>1)</sup>, besteht außer in einer ganz neuen Weltentstehungstheorie, in einem Kampfe gegen alle zumftmäßigen Gelehrten, welche angeblich in dem Ideenkreise der Laplace'schen Theorie derart verstrickt sind, daß sie etwas Besseres nicht sehen können und nicht sehen wollen. Jeder Forscher richte alle seine Untersuchungen so ein, daß sie zu einer Stütze der Laplace'schen Theorie werden müssen. Bevor daher auf die neue Kosmogonie eingegangen werden kann, müssen einige Worte zur Verteidigung der modernen Wissenschaft gesprochen werden, um so mehr, als die Lehre namentlich in Laienkreisen von Tag zu Tag an Auhang gewinnt. Zunächst darf man doch einem ernsten Gelehrten nicht zumuten, daß er sich durch vorgefaßte Meinungen beeinflussen läßt; ganz unmöglich ist dies aber in mathematischen Untersuchungen. So ist es z. B. gewiß falsch, zu behaupten, Laplace habe sich den Satz von der Unveränderlichkeit der großen Achsen der Planetenbahnen in den Kopf gesetzt, und darum habe er auch einen Beweis dafür flugs bei der Hand gehabt. Ich bin im Gegenteil der Überzeugung, daß Laplace von diesem Resultat zunächst aufs äußerste überrascht war. Natürlich gilt es nur unter den Bedingungen, unter denen es abgeleitet wurde, also z. B. nicht mehr für die Bewegung im widerstehenden Mittel und nicht für unbegrenzte Zeiträume, ein Umstand, der allen Astronomen bekannt ist. Was nun Laplace's Weltentstehungstheorie anbelangt, so weiß jedermann, daß sie zahlreiche Schwächen hat und allseits Schwierigkeiten bietet, und niemand hält sie für ein Dogma, mit dem man nicht in Widerspruch geraten dürfe. Es liegen vielmehr schon zahlreiche Versuche vor, die Weltentstehung auf anderem Wege zu erklären. Auch die Darwinsche Theorie von der Flutreibung und ihrer Wirkung auf die Mondbewegung und die Erdrotation, die Hörbiger ebenfalls für einen Glaubensartikel der Astronomen hält, wurde erst in jüngster Zeit von Schweydar als ganz unzutreffend erklärt, ohne daß darüber irgendwo eine größere Aufregung bemerkbar geworden wäre. Überhaupt ist der Autoritätsglaube in Gelehrtenkreisen gar nicht so verbreitet. Im Gegenteil: je größer der Gelehrte, desto größere Genugtuung bereitet es, ihm einen

Fehler nachzuweisen. Läßt sich aber an einer Sache gar nichts bemängeln, dann ist sie eben wirklich sehr gut und kann mit voller Berechtigung als Grundlage für weitere Untersuchungen dienen. Geistloses Nachbeten wird man selten finden.

Noch ein zweiter Punkt muß beleuchtet werden. Wenn eine neue Theorie vorgebracht werden soll, so muß es in einer Form geschehen, die ihre Beurteilung einigermaßen erleichtert. Das ist aber hier nicht der Fall. Es liegt ein Band von 740 Seiten vor, von denen mindestens 600 zu viel sind. Diese außerordentliche Breite findet ihre Ursache darin, daß in jedem einzelnen Satze immer alles wieder und nochmals gesagt werden soll. Dabei wird man jedesmal mit einem ganzen Kübel neuer technischer Ausdrücke überschüttet, so daß das Lesen des Buches zu einer Qual wird. Der Verfasser darf sich also nicht wundern, wenn seine Lehre in wissenschaftlichen Kreisen nicht viel Verbreitung gefunden hat. Ferner geht es nicht an, angesehene Gelehrte, wie etwa Darwin oder Helmholtz, mit überlegenem Lächeln und spöttischen Bemerkungen abzutun, namentlich wenn dabei sichtbar wird, daß die betreffenden Theorien gar nicht verstanden wurden. Was aber alle Resultate des Verfassers von vornherein diskreditiert, sind die groben Verstöße, welche gegen die einfachsten Sätze der Mechanik gemacht werden. So werden z. B. die Astronomen in belehrendem Tone auf die so interessanten Kreiselgesetze aufmerksam gemacht, von denen sie offenbar nichts wissen. In der Tat ist uns ein Gesetz nicht bekannt, nach welchem durch die „bekannte kreiselachsenwankende Präzessionserscheinung die Schiefe der Ekliptik entsteht“ (S. 352). Viele von des Verfassers Resultaten bauen sich auf solchen Fehlern auf. Eine weitere Quelle des Übels ist der Umstand, daß der Verfasser den mathematisch-analytischen Weg prinzipiell verwirft. Die Bewegungsvorgänge werden ausschließlich nach dem Gefühle beurteilt, wodurch nur ganz verwaschene und auch ganz unrichtige Resultate gewonnen werden; überhaupt ist dabei der Willkür Tür und Tor geöffnet, und es läßt sich auf diesem Wege beweisen, was man will.

I. Hörbigers Theorie beruht auf folgenden Grundgedanken (S. 63 ff. und S. 541 ff.): 1. Es gibt im Weltraum ein widerstehendes Mittel, allerdings von außerordentlicher Feinheit, welches sich aber doch in den Bewegungserscheinungen der Himmelskörper im Laufe langer Zeiträume geltend macht. Der Verfasser denkt dabei an Wasserstoff in äußerster Verdünnung. Gegen diesen Grundsatz läßt sich nichts Wesentliches

<sup>1)</sup> Hörbigers Glazialkosmogonie, eine neue Entwicklungsgeschichte des Weltalls und des Sonnensystems, bearbeitet, mit eigenen Erfahrungen gestützt und herausgegeben von Th. Fauth.

einwenden, wenn auch bisher ein solcher Einfluß nie nachgewiesen wurde; nur beim Enckeschen Kometen hat man diese Hypothese verfolgt. 2. Es gibt im Weltraum Eiskörper von großer Zahl und in allen Größen. Durch ihren Sturz auf die Sonne veranlassen sie alle daselbst beobachteten Vorgänge. Wir sehen sie als Sternschnuppen, und sie sind auch Ursache der Hagelschläge. Stürzt ein sehr großer Eiskörper in einen Fixstern, so entsteht eine Explosion, welche zur Entstehung eines neuen Sonnensystems führen kann. Die Existenz dieser Eiskörper ist der Kernpunkt der ganzen Theorie. Die Frage, ob freies Eis im Weltraum überhaupt existieren kann, wage ich nicht zu entscheiden. Es wirken hier zwei Umstände einander entgegen: Der geringe Druck, der die Verdunstung begünstigt, und die niedere Temperatur, die sie verzögert. Keinesfalls aber darf man die Einwirkung der Sonne dadurch aus der Welt schaffen, daß man behauptet, sie besitze keine Wärmestrahlen (S. 59 und 541). 3. In größerer Entfernung von einer schweren Masse nimmt die Anziehung rascher ab als nach der 2. Potenz der Entfernung, und ist auf weitere Distanzen dann direkt gleich Null: bei der Sonne schon in etwa 2—5facher (S. 602) Entfernung des Neptun. Auch diesen Grundsatz darf man nicht von vornherein verwerfen, denn daß das Newtonsche Gravitationsgesetz bis in alle Entfernungen mit voller Genauigkeit gilt, ist wohl nicht notwendig; sehr unwahrscheinlich aber ist es, daß schon in so geringer Distanz ein vollständiges Versagen eintreten sollte, selbst wenn man geneigt wäre, alle kleinen und bisher unerklärten Abweichungen in der Bahn des Neptun, die man derzeit einem transneptunischen Planeten zuschreibt, dem Gravitationsgesetz zur Last zu legen. Der Verfasser will mit dieser Annahme die Gravitation aus den Fixsternbewegungen ausschalten. Dazu wäre aber keine Änderung des Newtonschen Gesetzes notwendig. Die Distanzen sind so groß, daß an eine merkliche Beeinflussung ohnehin nicht gedacht werden kann. Jedenfalls aber glaubt niemand, wie der Verfasser den Astronomen zumutet, daß z. B. die „Bärenfamilie“ einer in der Richtung ihrer Bewegung liegenden Kraft folgt, oder daß die Sonne nach dem Hercules gezogen wird. Man glaubt vielmehr allgemein in Übereinstimmung mit Hörbiger, daß die Sterne im wesentlichen nur ihrer Trägheit folgen. Ob die Gravitation bei der ganzen Gestaltung des Systems eine Rolle spielt, ist uns vorläufig unbekannt.

Wir wollen nun in kurzem die Theorie resümieren und dann später die Einwände bringen und auf die Fehler aufmerksam machen. Den Ursprung des Sonnensystems stellt sich der Verfasser folgendermaßen vor. In eine Riesen Sonne stürzt ein Begleiter, der entweder ganz aus Eis besteht oder wenigstens mit einer viele Kilometer dicken Eisschicht überdeckt ist. Der plötzliche Einsturz in den heißen Hauptkörper hat eine

außerordentliche Dampfentwicklung zur Folge. Da aber der Körper gleich in eine größere Tiefe gelangt, so kann der Dampf nicht sofort entweichen und erhält daher eine außerordentliche Spannung. Man kann auch denken, daß das Wasser in flüssiger Form bleibt, aber in einen Zustand der Überhitzung und des Siedeverzuges gerät. Kurz: wenn eine gewisse Grenze überschritten ist, endet der Vorgang mit einer ungeheuren Explosion. Eine solche Explosion auf einer Riesen Sonne in der Gegend des Sternbildes der Taube, bei welcher eine größere Anzahl von Körpern in der Richtung nach dem Hercules fortgeschleudert wurden, ist der Ursprung der Sonne.

Hier ist gleich ein Einwand zu machen; solche Riesen Sonnen, wie der Verfasser annimmt — er spricht von 1 000 000 Sonnenmassen (S. 576) —, gibt es nicht. Er wurde dazu wohl durch den Ausdruck „Riesensterne“ verführt. Man hat aber allen Grund, anzunehmen, daß diese Sterne nur Riesen sind dem Volumen nach, und nicht nach der Masse, indem die Riesen auf dem Wege normaler Entwicklung mit der Zeit Zwerge werden. Übrigens ist die Sache für das Folgende ziemlich unwesentlich.

Die Art und Weise, wie sich nun die Sache bei Hörbiger weiter entwickelt, ist so unklar und schleierhaft, daß man sich überhaupt keine rechte Vorstellung machen kann; es soll dies nicht als Fehler gerechnet werden, denn in dieser Hinsicht sind andere Kosmogonien auch nicht besser. Es soll also nur mitgeteilt werden, was für eine Konfiguration sich schließlich ergibt. In der Mitte steht die Sonne; um sie kreisen zunächst die vier inneren Planeten, zwischen Mars und Erde aber der Mond, in einem früheren Zustande noch als ein selbständiger Planet, und etwa noch ein paar kleine Körper der gleichen Art. Diese Planeten haben einen verhältnismäßig kleinen Kern aus Masse von der Dichte 5,5, wie die Erde, sind aber mit einer mächtigen Eisschicht umgeben, und auch die feste Masse ist bis tief hinein von Wasser durchtränkt. Daraus erklärt sich die geringere mittlere Dichte dieser Körper. Nur die Erde ist derzeit eisfrei. Es ist sehr merkwürdig, daß gerade bei dem einzigen Planeten, von dem wir etwas Sicheres wissen, eine Ausnahme stattfindet.

Die vier äußeren Planeten sind ganz aus Eis, ebenso die kleinen Planeten. Außerhalb des Neptun gibt es noch einen Gürtel von Eisplanetoiden, und endlich ist das Ganze umgeben von einem Ring, bestehend aus vielen Tausenden oder Millionen von kleineren und größeren Eiskörpern, welche im reflektierten Sonnenlicht erglänzen, und welche uns das Schauspiel der Milchstraße und zwar ihres nebelhaften Teiles bieten. Die Bahnen der Planeten liegen in der Ekliptik, von Neptun ab aber, durch die außerneptunischen Planeten hindurch, ändert sich die Fundamentalebene, bis sie im Eisringe in die Ebene der Milchstraße übergeht. Hier befinden wir uns bereits in einer Entfernung, wo die Anziehung der Sonne gleich Null ist. Von dieser nebelhaften Milch-



straße ist diejenige, welche aus einer Sternzusammendrängung besteht, und die mit der anderen einen kleinen Winkel einschließt, scharf zu unterscheiden. Aber auch diese besteht aus Körpern, welche von der ursprünglichen Explosion stammen, und alles zusammen hat eine gemeinsame Geschwindigkeit von etwa 20 km/sec. in der Richtung nach dem Hercules.

Diese etwas komplizierte Anordnung wäre also das Resultat der großen Explosion. Es spielt dabei die Anordnung nach dem spezifischen Gewicht eine Rolle; ferner wird von einem Glutkreisel gesprochen, dessen Mitte die Sonne bildet, an welchem das umgebende Mittel wie in einer Zentrifugalluftpumpe beteiligt ist. Jedenfalls hat man bei der Lektüre dieses Kapitels das Gefühl, daß der Verfasser gerade jenen Problemen, die *Laplace* mit seiner Theorie zu lösen trachtet, aus dem Wege gegangen ist; so bleibt z. B. die gleichsinnige Bewegung der Planeten ganz unerklärt. Wenn man sich aber diesen Glutkreisel ansieht und bemerkt, daß sich die Eismassen der Milchstraße doch in einem Ring anordnen, so wird man zugeben müssen, daß der böse *Laplace* auch hier Gevatter gestanden.

Das Eis, welches hier eine so große Rolle spielt, stammt noch von dem in die Riesen Sonne eingestürzten Begleiter und wurde, bevor es zum Schmelzen kam, durch die Explosion hinausgerissen.

Ursprünglich lagen alle Bahnen in einer Ebene, welche mit der der Milchstraße zusammenfallend gedacht ist. Durch den Widerstand des Mittels aber haben sich die Bahnen der Planeten aufgerichtet, um sich quer zur Bewegung gegen den Hercules zu stellen. Zum mechanischen Beweis für diesen Vorgang nimmt der Verfasser hier das Kreiselgesetz in Anspruch (S. 98 u. 177). Das ist nun natürlich ein grober Fehler. Ein Planetensystem darf nicht nach dem Kreiselgesetz behandelt werden. Die merkwürdigen Erscheinungen, die der Kreisel bietet, sind ja nur darin begründet, daß er auf irgendeine Kraft, welche an ihm angreift, mit der ganzen Trägheit seiner rotierenden Masse reagiert; es ist also die feste Verbindung unter den Teilen, die dafür maßgebend ist. Die Massen der Planeten sind voneinander unabhängig, sie müssen nach der Mechanik diskreter Punkte behandelt werden, deren spezielle Form, die hier in Betracht kommt, die Störungstheorie ist.

Der Widerstand ist von der Geschwindigkeit abhängig; diese setzt sich zusammen aus der relativen Geschwindigkeit des Planeten um die Sonne und der linearen Geschwindigkeit der Sonne im Raume<sup>2)</sup>. Nimmt man an, daß der Widerstand der 1. Potenz der Geschwindigkeit

proportional ist, so findet man nach den Gleichungen (*Tisserand*, Bd. I, S. 433), daß in der Neigung und im Knoten der Bahn (etwa im Verhältnis zu einer Ebene senkrecht zur Sonnengeschwindigkeit) nur Störungen von der Periode eines Umlaufes auftreten, aber keine säkulären Störungen. Ist der Widerstand aber dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional, so tritt tatsächlich eine fortschreitende Änderung der Neigung im gewünschten Sinne auf, die Knotenlage aber bleibt konstant. Das Kreiselgesetz würde aber ganz etwas anderes verlangen: es müßte der Knoten bei konstanter Neigung wandern, oder die Senkrechte zur Bahnebene würde einen Kegel konstanter Öffnung um die Richtung der Sonnengeschwindigkeit beschreiben. Nach dem Verfasser sollte aber beides eintreten: Neigungs- und Knotenänderung. Es wird also ein Gesetz herangezogen, das gar nicht hergehört, dieses wird überdies noch falsch angewendet, und nur durch Zufall ergibt sich wenigstens in bezug auf die Neigung ein richtiges Resultat.

Die einzelnen Planeten werden dabei verschieden beeinflusst je nach Größe und Masse. Inwieweit dabei Jupiter, als der größte, imstande ist, alle anderen Planeten in seiner Ebene zu erhalten, müßte eine spezielle Untersuchung zeigen.

II. Wir wenden uns nun zu dem Mechanismus, durch welchen aus dem „galaktischen Eising“ das Eis zur Sonne gelangt (S. 123 ff. u. 605 ff.). Nach *Hörbiger* werden die Eiskörper je nach ihrer Größe einen verschiedenen Einfluß des widerstehenden Mittels erfahren und daher auf dem Wege nach dem Hercules langsam gegen die Sonne zurückbleiben, welche ihrerseits infolge ihrer großen Masse den Widerstand am leichtesten überwindet. Indem so aus allen Teilen des Eisinges Teile zurückbleiben, entsteht der sogenannte „Eisschleier“. Die ursprünglich geradlinigen Bahnen werden nun durch die Anziehung der Sonne gekrümmt, und dadurch der Eisschleier wie ein Vorhang zur Sonne gerafft, es entsteht der Eisschleierkonus, dessen Spitze in die Sonne fällt. Dabei findet eine Größensortierung statt, derart, daß die Vorderseite des Kegels die größeren Körper enthält, die Hinterseite die kleineren, da wegen des verschiedenen Widerstandes die Bahnformen verschieden ausfallen. Mit dem Einsturz der Eiskörper in die Sonne werden nun die Sonnenflecken mit ihrer ganzen Anordnung nach Ort und Zeit erklärt. Andererseits wird dieser Eisschleierkonus von der Erdbahn an zwei Stellen geschnitten. Wenn nun die Erde zu bestimmten Zeiten des Jahres diese kritischen Stellen passiert, erlebt sie einen Sternschnuppenfall, indem nach Ansicht des Verfassers die Sternschnuppen eben nichts anderes sind als die zur Sonne eilenden Eiskörper. In Fig. 1 ist beiläufig angedeutet, wie sich der Verfasser dies vorstellt. In der Mitte steht die Sonne, stark vergrößert gezeichnet, umgeben von

<sup>2)</sup> Wir können nicht wissen, ob der Sonne nicht vielleicht noch eine Bewegung mit dem ganzen Fixsternsystem zukommt. Andererseits ist der Begriff der absoluten Bewegung nach moderner Auffassung überhaupt nicht brauchbar. Man kommt also eigentlich ins Uferlose.

der Erdbahn; man sieht den einmündenden Eisschleierkonus, der von der Erdbahn in den Punkten  $E_1$  und  $E_2$  gekreuzt wird. Die ursprüngliche Lage des Eisschleiers, aus dem der Konus durch die Anziehung der Sonne herausgehoben wird, hat man sich etwa  $60^\circ$  gegen die Erdbahn geneigt zu denken.

Auch hier kann man ohne mathematische Überlegung nicht sagen, was geschieht. Ich habe mir daher ein Beispiel konstruiert, welches etwa der Hörbigerschen Annahme entspricht. Die Eismilchstraße befinde sich in 5facher Neptunentfernung, das sind 150 astronomische Einheiten (Erdweiten), und bewege sich zunächst gleichzeitig mit der Sonne mit einer Geschwindigkeit von 20 km/sec. in der Richtung nach dem Hercules, eine Richtung, welche etwa  $17^\circ$  von der Ebene der Milchstraße abweicht. In einem gewissen Zeitpunkte fange ein Körper an unter dem Einfluß des Widerstandes zurückzubleiben. Ich nehme ferner an, daß der Körper von Anfang an der vollen Newtonschen Anziehung unterworfen ist, wobei bemerkt werden muß, daß diese An-

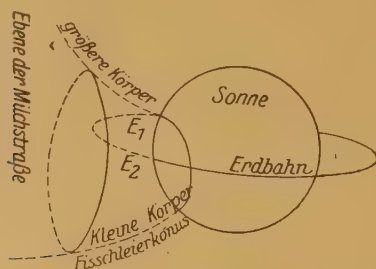


Fig. 1. Die Sonne und die Erdbahn in ihrem Verhältnis zum Eisschleierkonus.

nahme für das Erreichen der Sonne noch günstiger ist als die, die Hörbiger selbst macht, nämlich, daß draußen die Anziehung gleich Null ist. Bei den großen Entfernungen ist übrigens der Unterschied ganz unwesentlich.

Um die Aufgabe numerisch behandeln zu können, muß zunächst festgestellt werden, wie groß der Widerstand des Mittels überhaupt sein darf.

Der Einfluß des Widerstandes ist der Masse  $m$  des Körpers verkehrt, seinem Querschnitt  $q$  gerade proportioniert. Nehmen wir endlich wieder an, daß der Widerstand vom Quadrat der Geschwindigkeit  $v$  abhängt, so erhalten wir den Ausdruck  $\frac{\kappa q v^2}{m}$ , wo  $\kappa$  eine Konstante bezeichnet. Für eine Kugel vom Radius  $r$  und der Dichte  $\rho$  wird daraus  $\frac{\lambda}{r \rho}$ , wo  $\lambda$  eine neue Konstante bezeichnet. Für die Konstante  $\lambda$  habe ich den Wert  $2 \cdot 10^{-7}$  angenommen.

Wir wollen zuerst untersuchen, inwieweit dieser Wert mit den Verhältnissen des Planetensystems verträglich ist. Für die Erde ist  $r = 4,3 \cdot 10^{-5}$  und  $\rho = 8,4 \cdot 10^6$  in astronomischen Einheiten. Unter der Annahme einer Bahnge-

schwindigkeit der Erde von 30 km/sec. und einer Geschwindigkeit von 20 km/sec. mit der Sonne findet man eine Verkürzung der Umlaufzeit der Erde um jährlich 0,001 sec. Das ist zulässig, denn die Summe der 2000 Jahre, welche uns von der Antike trennen, wird dadurch nur um 0,55 Stunden geändert. Der zehnfache Wert wäre wohl nicht mehr gut mit den antiken Beobachtungen zu vereinbaren<sup>3)</sup>.

Wendet man aber den obigen Wert von  $\lambda$  auf den inneren Marsmond an, so findet man eine Verkürzung von 0,0003 sec. pro Umlauf. Da nun dieser Mond beiläufig 1000 Umläufe im Jahre macht, so würde die Summe aller Umläufe der 40 Jahre, seit seiner Entdeckung um 240 000 sec., der ersten 20 Jahre: um 60 000 sec. verkürzt erscheinen; in 60 000 sec. macht aber der Mond mehr als zwei Umläufe. Es würde auch aus der ersten Hälfte eine um 9 sec. längere Umlaufzeit folgen als aus der zweiten. Diese Verhältnisse wären nicht verborgen geblieben. Der obige Wert von  $\lambda$  ist also jedenfalls sehr groß gewählt. Ich habe nun zunächst einen sehr kleinen Eiskörper gewählt, bei dem der Widerstand sehr viel ausbleibt. Es sei  $r = 0,5$  cm;

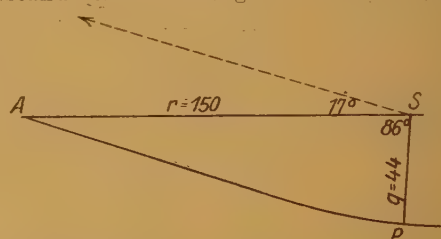


Fig. 2. Bahn eines kleinen Körpers unter dem Einfluß eines im Raume ruhenden widerstehenden Mittels.

der Widerstand wirkt dann etwa  $10^9$ mal stärker als bei der Erde. Unter der Voraussetzung, daß das Medium ruht, wie es doch die Idee des Zurückbleibens der Körper verlangt, wurde nun die relative Bahn um die Sonne numerisch berechnet. Als Ausgangspunkt wurde der Punkt des galaktischen Eisringes gewählt, der die gleiche galaktische Länge hat wie der Sonnenapex; seine Entfernung von der Sonne wurde mit 150 Erdweiten angenommen. Die Bahn ist in Fig. 2 gezeichnet. Der Körper erreicht sein Perihel  $P$  in einer Entfernung von 44 Erdweiten (gleich  $1\frac{1}{2}$  Neptunfernen) unter einem Positionswinkel von  $86^\circ$  gegenüber der Richtung nach dem Ausgangspunkt. Die relative Geschwindigkeit gegen die Sonne ist in  $P$  mehr als 20 km. Die Zeit, die der Körper braucht, um von  $A$  nach  $P$  zu kommen, beträgt 34,5 Jahre. Hätten wir das Gravitationsgesetz im Sinne Hörbigers verändert, so müßte  $P$  noch weiter draußen liegen.

Die Sache ist aber auch leicht verständlich; der kleine Körper, der einem ungeheuren Widerstand ausgesetzt ist, bleibt nach kurzer Zeit fast

<sup>3)</sup> Vgl. J. K. Fotheringham, The secular acceleration of the sun as determined from Hipparchus equinox observations (Monthly Notices vol LXXVIII).



unbeweglich im Raum liegen. Die Sonne dagegen, für welche der Widerstand unmerklich ist, bewegt sich mit voller Geschwindigkeit weiter, so daß die ganze relative Geschwindigkeit ausschließlich von der Sonnenbewegung kommt. Sie kann daher auch nicht mehr verschwinden und der Eiskörper daher niemals zur Sonne gelangen: die relative Geschwindigkeit von 20 km übersteigt weit den Grenzwert für eine Parabel, der für die Entfernung von 44 Erdweiten nur 6,4 km/sec. beträgt. — Der Körper beschreibt also eine Hyperbel, die von einer Geraden nicht mehr zu unterscheiden ist, und daran kann kein Widerstand etwas ändern, solange er nicht auch die Sonne merklich bremst. Der Fehler, den der Verfasser hier macht, besteht darin, daß zuerst für das Zurückbleiben aus dem galaktischen Eisring das Mittel ruhend angenommen wird, während für das Hineinstürzen in die Sonne das Mittel an der Sonnenbewegung teilnehmen müßte.

Ich habe noch ein zweites Beispiel berechnet: die Bewegung eines Eiskörpers von 10 km Durchmesser unter sonst gleichen Verhältnissen. Dieser Körper bewegt sich in einer Bahn, die von der geraden Linie *AS* kaum abweicht; er geht knapp

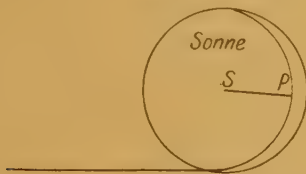


Fig. 3. Bahn eines größeren Körpers unter dem Einfluß eines im Raume ruhenden widerstehenden Mittels.

an *S* vorbei und erreicht sein Perihel unter nahezu 180°, also auf der Hinterseite der Sonne, in einer Entfernung von  $6 \cdot 10^5$  km. Da der Sonnenradius 695 000 km, so stürzt der Körper tatsächlich in die Sonne, aber unter sehr flachem Winkel. Die Einsturzstelle hat eine Länge von etwa 90° (Fig. 3). Die Perihelgeschwindigkeit ist 662 km/sec., und die Zeit, die der Körper braucht, um das Perihel zu erreichen, beträgt 568 Jahre.

Wir erhalten also ein ganz anderes Bild, als der Verfasser. Nur die größten Eiskörper gelangen wirklich zur Sonne (an größere, als in unserm Beispiel 2, denkt der Verfasser überhaupt nicht); kleinere werden hinter der Sonne vorbeigehen und mit einer Geschwindigkeit, welche fast einer parabolischen Bewegung entspricht, wieder in den Weltraum eilen. Die kleinen und kleinsten aber gehen weit draußen an der Sonne vorüber.

Um das Bild zu erhalten, wie es Hörbiger braucht, können wir zweierlei versuchen. Entweder wir rücken den galaktischen Eisring viel näher heran, oder wir machen den Widerstand kleiner. Bei dem 1. Versuche kommt man sofort auf Widersprüche. Nehmen wir an, die Entfernung sei nur noch 2 Neptunsweiten (60 Erdweiten), so müßte die Milchstraße eine bedeutende Parallaxe zeigen. Der Verfasser bespricht diesen Punkt eingehend (S. 556) und meint, eine solche

Parallaxe bliebe unbemerkt, weil von den Zeiten der extremen Verschiebung immer eine in den Tag hineinfällt, wo die Milchstraße unsichtbar ist. Er vermeidet aber anzugeben, wie groß diese Parallaxe sein müßte. Man findet durch leichte Überlegung, daß die gesamte Verschiebung bei 2 Neptunsweiten Entfernung 2° betragen müßte: das ist so viel, daß man das Maximum gar nicht abwarten müßte. Ich glaube sogar, daß diese Erscheinung außerordentlich auffallend wäre, namentlich deshalb, weil die Milchstraße gar keinen so verwaschenen Rand hat. Es nähme fast wunder, daß dies nicht schon die alten Babylonier entdeckt hätten, oder daß man wenigstens in den Zeiten nach Copernicus darauf gekommen wäre, als man mit solchem Eifer nach der Fixsternparallaxe suchte.

Ferner: wenn schon die Möglichkeit einer Abweichung vom Newtonschen Gesetz zugegeben wird, so kann man sich doch unmöglich denken, daß in zwei Neptunsweiten die Anziehung schon gleich Null sein soll, um so weniger als Hörbiger außerhalb des Neptun noch eine ganze Schar von Planetoiden annimmt.

Endlich erhält man auch hier noch nicht die vom Verfasser verlangte Anordnung. Ich habe für den Körper unseres ersten Beispiels die Bahn berechnet und gefunden, daß er nun sein Perihel in 78,5° Länge und in einer Entfernung von 17 Erdweiten erreicht. Die relative Geschwindigkeit beträgt aber wieder 20 km/sec. und entspricht wieder einer Hyperbel, da die Grenzggeschwindigkeit für die Parabel nur 10,3 km/sec. beträgt. Die Zeit, die der Körper braucht, ist nur 14 Jahre. Also die kleinen Eiskörper kommen auch jetzt nicht zur Sonne.

Wenn wir aber den zweiten Weg gehen wollen, so müssen wir den Widerstand so klein machen, daß der kleine Körper des Beispiels 1 etwa den Weg nimmt, wie der große des Beispiels 2; dazu muß der Widerstand 10<sup>6</sup>mal kleiner gemacht werden. Es würde sich aber dann das Erdenjahr nur um 10<sup>-9</sup> sec. ändern, oder es würde 10<sup>9</sup> Jahre dauern, bis das Jahr um 1 sec. abnimmt. Für einen Körper von Mondgröße, mit viermal kleinerem Radius und halber Dichte, würde die Zahl 8mal kleiner, also rund 10<sup>8</sup>. Die Abnahme um einen Tag verlangt dann  $8,6 \cdot 10^{12}$  Jahre, um 300 Tage:  $26 \cdot 10^{14}$  Jahre. Damit also ein Planet von Mondgröße seine Bahn von der Marsbahn bis zur Erdbahn verkleinert, vergehen zweieinhalbtausend Billionen Jahre. Und dieser Vorgang soll sich in geologischer Zeit mehrmals wiederholen haben, denn jede unserer geologischen Perioden hängt nach Hörbiger mit dem Aufsturz eines Nachbarplaneten auf die Erde zusammen. Selbst wenn man den Widerstand nur 10<sup>3</sup>mal vergrößert, also auf die kleinen Körper ganz verzichtet, bleiben noch immer Zahlen, die viel zu groß sind. Mit anderen Worten, die Schrumpfungshypothese, nach der kleinere Planeten, etwa zwischen Mars und Erde, wozu seinerzeit auch

der Mond gehörte, ihre Bahn verengen und dann auf die Erde stürzen, muß als geologischer Faktor ausscheiden.

Dazu kommt nun noch folgendes. 1. Wenn wirklich die Eiskörper aus dem galaktischen Ring in großer Zahl zurückbleiben, warum erscheint die Milchstraße dann nicht auf der einen Seite verwaschen und gefranst? 2. Die Auslese nach der Größe, die nach Fig. 1 den Eisschleierkonus zur Folge hat, wird natürlich dadurch bedeutend gestört, daß die Bahnen nicht alle den gleichen Ausgangspunkt haben und auch nicht alle von einer idealen, die Milchstraße ersetzenden Kreislinie ausgehen. Die Milchstraße erscheint uns als ein Band von mehr als  $20^\circ$  Breite. Befindet sie sich in 150 Erdweiten Entfernung, so hat sie eine Breite von 50 Erdweiten, also fast 2 Neptunweiten, und man wird ihr auch eine entsprechende Tiefendimension zugestehen müssen. Die Bahnen laufen also gewiß so durcheinander, daß der Eisschleier und der Eisschleierkonus überhaupt nicht entstehen; es ist daher auch nicht möglich, daraus die Periodizität von Sonnenflecken und Sternschnuppen abzuleiten. 3. Man müßte doch auch die größeren Eiskörper als Kometen in unmittelbarer Nähe der Sonne sehen können; die sogenannten teleskopischen Sternschnuppen, die von manchen Beobachtern gesehen wurden, sind doch zu selten, um darauf eine ganze Theorie zu gründen. Von den gewöhnlichen Sternschnuppen wird weiter unten die Rede sein. 4. Das gewichtigste Argument sind aber meines Erachtens die außerordentlich kurzen Zeiten, die aus obigen Beispielen resultieren. Man fragt sich vergebens, wieso der Eisring überhaupt noch bestehen kann, oder was ihn eigentlich noch erhält; warum auch immer nur einzelne Körper zurückbleiben und nicht alle gleichzeitig. Wenn man annimmt, daß das Zurückbleiben erst jetzt beginnt, so müßte in wenigen Jahrhunderten die ganze Milchstraße verschwunden sein; es wäre denn, daß der Eisring sehr viele und sehr große Körper enthält, welche den Widerstand des Mittels nicht empfinden. Vor der ungeheuren Massenanziehung, die durch diesen schiefen Ring entstehen müßte, rettet sich allerdings der Verfasser durch seine Annahme über das Gravitationsgesetz.

Man könnte nun den obigen Ausführungen entgegen halten, daß das Mittel eben nicht als ganz ruhend aufzufassen sei. Es ruht nur draußen beim Eisring, in der Nähe der Sonne aber macht es die Bewegung derselben mit. Ich habe daher auch für den entgegengesetzten Grenzfall, daß das Mittel überall an der Sonnenbewegung teilnimmt, ein Beispiel gerechnet. Der Widerstand wirkt hier gerade entgegengesetzt wie im andern Fall. Im ersten Fall hält der Widerstand die zwei Körper auseinander und verkürzt die Laufzeiten, im zweiten Fall treibt sie der Widerstand zusammen, verlängert aber die Laufzeiten. Für den großen Körper im Beispiel 2 gibt das nichts aus, da er den Widerstand überhaupt wenig

fühlt. Der kleine Körper in Beispiel 1 nimmt aber nun seinen Weg direkt zur Sonne, weil der „Seitenwind“ fehlt, der bei ruhendem Mittel dadurch entsteht, daß die Bewegungsrichtung der Sonne nicht in die Ebene der Milchstraße fällt. Der Körper braucht nun etwa 3200 Jahre, um hereinzukommen. Dabei ist aber in dem Sinne zu viel gerechnet, als wenigstens ganz draußen das Mittel ruhen muß, sonst fängt das Zurückbleiben überhaupt nicht an, wenn man mit Hörbiger annimmt, daß dort die Anziehung gleich Null ist. Der Körper wird also gleich zu Anfang durch das Mittel stark aufgehalten und legt die erste Strecke mit der großen relativen Geschwindigkeit von 20 km/sec. zurück. Aber auch so ist die obige Zahl viel zu klein. Um eine für kosmogonische Begriffe brauchbare Lebensdauer des Eisringes zu erhalten, müßte die Zeit doch wenigstens 1 000 000mal größer sein, was einem 1000mal größeren Widerstand entspricht. Ein solcher aber würde im Planetensystem sich in kürzester Zeit bemerkbar machen: so würde sich die Umlaufzeit der Erde jährlich um eine ganze Sekunde verkürzen, was unmöglich ist.



Fig. 4. Das Kraftfeld von Sonne und Erde und die Bahn eines Hagelkörpers nach Hörbiger.

Aus allen diesen Darlegungen folgt, daß die Theorie vom Eisschleierkonus überhaupt nicht haltbar ist, nicht nur weil die Bahnen nicht in der verlangten Form und der gewünschten schönen Ordnung verlaufen, sondern weil die Zeit für die ganze Entwicklung zu kurz ausfällt. Damit fällt aber auch die ganze Theorie der Sonnenflecken und Sternschnuppen zusammen.

III. Im diesem Zusammenhange muß auch der Hageltheorie des Verfassers gedacht werden. Danach entsteht der Hagel aus Eismeteoriten, welche auf ihrem Wege zur Sonne von der Erde aufgefangen werden und in der Luft zerspringen. Die Art und Weise, wie diese Hagelkörper zur Erde gelangen und gerade bei hohem Sonnenstande, also auf der Tagseite der Erde einschließen, wird durch die nebenstehende Fig. 4 erläutert, in welcher das Kraftfeld der Erde und Sonne durch die Richtung und Größe der Anziehung in den einzelnen Punkten dargestellt ist. *E* ist die Erde, *N* der neutrale Punkt zwischen Sonne und Erde, wo sich beide Anziehungen aufheben. Ein



von außen kommender Eiskörper soll nun, dem jeweiligen Zuge der Kraft folgend, eine Bahn beschreiben, wie ich sie durch die punktierte Linie angedeutet habe, derart, daß der Körper endlich von der Sonnenseite auf die Erde kommt. Der Vorgang ist unmöglich. Es wird hier die gleiche falsche Voraussetzung gemacht, die wir schon bei den Bewegungen der Sonne und der Fixsterne gefunden haben, nämlich daß die Körper genau der Richtung der Kraft folgen, während doch schon jeder Steinwurf das Gegenteil beweist. Obiger Vorgang würde eine sehr kleine relative Geschwindigkeit gegen die Erde verlangen, somit eine absolute Geschwindigkeit zwischen 10 und 50 km/sec., andererseits aber müßte der Widerstand so groß sein, daß die entstehende lebendige Kraft im Augenblick wieder vernichtet wird: die erste Bedingung kann nur ein größerer Körper erfüllen, die zweite nur ein ganz kleiner. Die ganze Darlegung des Verfassers hat augenscheinlich den Charakter einer Verlegenheitslösung, um die Erscheinung zu erklären, daß Hagelschläge fast nur bei hohem Sonnenstande eintreten sollen, während seine Meteorhypothese eigentlich Hagelschläge zu allen Tages- und Jahreszeiten gleich wahrscheinlich macht, namentlich wenn in dem Eisschleierkonus nicht die gewünschte Ordnung herrscht.

Die obige Hageltheorie steht im engsten Zusammenhange mit der Theorie der Sternschnuppen. Diese sollen auch nichts anderes sein als Eiskörper, welche im reflektierten Sonnenlichte leuchten. Sie können daher nach *Hörbigers* Ansicht nur dort gesehen werden, wo ihnen nicht durch den Schattenkegel der Erde das Licht entzogen wird. Ihr Erlöschen wäre also durch den Eintritt in den Schattenkegel bedingt. Diese Sache läßt sich leicht prüfen: man braucht nur zu untersuchen, ob man nie Sternschnuppen in der Nähe des Gegenpunktes der Sonne gesehen hat. In der Tat aber fand sich schon unter den wenigen Sternschnuppen, die am 10. August 1921 an der hiesigen Sternwarte beobachtet werden konnten, eine, die nur  $20^\circ$  vom Gegenpunkte der Sonne entfernt erloschen ist. Soll dieses Erlöschen durch den Eintritt in den Schattenkegel hervorgerufen worden sein, müßte die Sternschnuppe in einer Höhe von drei Erdradien oder etwa 19 000 km gelaufen sein. Sie hat einen Bogen von ca.  $10^\circ$  zurückgelegt; nimmt man an, sie habe dazu eine ganze Sekunde gebraucht, was für eine Sternschnuppe schon sehr viel ist, so folgt eine Geschwindigkeit von 3000 km/sec., ein ganz unmögliches Resultat.

Bei dieser Gelegenheit müssen auch über das Einfangen von Weltkörpern ein paar Worte gesprochen werden. *Hörbiger* scheint zu glauben, daß ein kleiner Planet, der durch den Widerstand eine solche Bahnschrumpfung erlitten hat, daß er einem andern nun sehr nahe kommen kann, dann längere Zeit in fast gleichem Tempo neben diesem laufen wird. Das ist

natürlich unmöglich. Durch die gegenseitige Anziehung wird der kleine Körper eine sehr große Geschwindigkeit erhalten, und diese wird in den meisten Fällen hinreichen, ihn aus der gefährlichen Zone herauszureißen; er wird seine Bahn wesentlich ändern, und ob er dem andern Planeten jemals wieder nahe kommen wird, ist sehr zweifelhaft. Die Ansicht, daß also jeder Planet, bei Verkleinerung seiner Bahn rettungslos seinem nächsten Nachbar verfallen ist, ist ganz unrichtig. Es ist daher sehr unwahrscheinlich, daß die Erde schon eine ganze Reihe solcher Körper gefangen und ihrer Masse einverleibt hat. (*F. Nölke*, Die Glazialkosmogonie von *Hörbiger-Fauth*, Beilage zu *Petermanns Mitteilungen*, Dez. 1914.)

Wieso endlich durch die Vorgänge, die *Hörbiger* einführt, also durch das Einstürzen von Eis in die Sonne und Rückkehr desselben in den Weltenraum infolge explosiver Siedeerscheinungen, der Entropiesatz ausgeschaltet und der Wärmetod vermieden sein soll (S. 297), ist nicht einzusehen, da kein Vorgang eingeführt wird, der sich diesen Gesetzen nicht fügt. Solange eine genügende Temperaturdifferenz zwischen der Sonne und dem Eis besteht, so lange kann der Vorgang weitergehen; wenn aber durch die fortwährenden und unvermeidlichen Wärmeverluste die Temperatur hinlänglich gesunken ist, dann hört er eben auf.

IV. Was den meteorologischen und geologischen Teil anbelangt, so bin ich nicht Fachmann genug, um alles im einzelnen prüfen zu können; soweit jedoch rein physikalische und astronomische Fragen hineinspielen, sei hier noch einiges erwähnt. Auf die Unmöglichkeit, die Erde jährlich mit so viel kosmischem Wasser zu beladen, hat schon *Nölke* hingewiesen (*Naturw. Wochenschrift* 1921, Nr. 21). Unsere Kenntnisse von der Mondbahn lassen dies nicht zu, weil dem Wasserzuwachs, trotz *Hörbigers* gegenteiliger Behauptung, gar keine Verluste entsprechen.

Es sei noch auf einen anderen Fehler hingewiesen, welcher bei der Erklärung der halbtägigen Welle des Luftdruckes gemacht wird (S. 215). Nach *Hörbiger* sendet die Sonne ununterbrochen einen Strom von Feineis gegen die Erde. Dieses übt auf der der Sonne zugewendeten Seite auf die atmosphärische Luft einen Druck aus, derart, daß die Luft gegen die Schatten-grenze verschoben und wie ein Wall aufgestaut wird. Hier am Rande soll nun das Maximum entstehen, während in der Mitte der Druck infolge des Wegschiebens der Luft sinkt. Der Verfasser vergißt, daß die Luft nur weggestaut bleiben kann, wenn der Druck in der Mitte hoch bleibt. Man muß eben den vom Feineisstrom ausgeübten Druck mitzählen, da ihn auch das Barometer anzeigt. Dieses zeigt die Spannung der Luft, ganz gleichgültig, auf welchem Wege diese zustande kommt.

Auch im geologischen Teil ist auf ein grobes-

Versehen hinzuweisen. Es wird behauptet, daß, wenn Mond und Erde sich immer die gleiche Seite zuwenden, der Mond auf der Erde einen Flutberg hervorbringen müßte, der die Höhe von vielen hundert Metern erreicht. Das ist natürlich falsch. Es ist richtig, daß die Flutkraft horizontale Komponenten liefert, welche das Wasser gegen jenen Punkt ziehen, wo der Mond im Zenit steht; es ist aber nicht richtig, zu behaupten, daß die Astronomen davon nichts wissen, da doch seit Laplace alle Fluttheorien ausschließlich auf den Horizontalkräften aufgebaut sind. Die Vertikalkräfte kommen eben gegen die Schwere nicht auf. Man darf aber nicht glauben, daß diese Horizontalkräfte beständig derart wirksam bleiben, daß sie immer weiter Wasser gegen den Zenitpunkt schaffen. Im Gegenteil, diese Komponenten verschwinden in dem Augenblick, als die Gleichgewichtsfigur erreicht ist, bei welcher die Resultierende aus der Anziehungskraft von Erde und Mond auf der Wasseroberfläche senkrecht steht. Wendet die Erde dem Mond immer die gleiche Seite zu, so wird dieser Gleichgewichtszustand auch wirklich erreicht werden, vielleicht der einzige Fall, in welchem die Gleichgewichtstheorie streng gültig ist. Unter den heutigen Verhältnissen beträgt aber die Hebung nur 18 cm, also etwa  $10^5$ mal weniger als Hörbiger annimmt. Der

Mond müßte  $\sqrt[3]{10^5}$ , also etwa 46mal näher stehen, um solche Fluten zu erzeugen. Nach Hörbiger sollen aber solche Fluten gleich nach dem Einfangen des Mondes entstanden sein, und auch heute noch sollte das Meer am Äquator um mehrere hundert Meter sinken, wenn man den Mond wegnimmt (S. 396). Auf dem Wege können also die großen Fluten, die Hörbiger für seine geologischen Entwicklungen braucht, nicht entstanden sein.

Große Fluten können aber auf einem anderen Wege entstehen, wenn nämlich eine Periode der Fluterscheinung mit einer Periode der freien Schwingungen des Wassers zusammenfällt, wenn also die Erscheinung der Resonanz auftritt. Wenn sich die Umlaufszeit des Mondes oder die Umdrehungszeit der Erde ändert, so müssen ab und zu solche Koinzidenzen eintreten, und dann wird die entsprechende Partialtide gewaltig anwachsen können. Die Perioden der freien Schwingungen hängen aber von der Tiefe des Meeres und der Küstenkonfiguration ab; es könnte sich auch hierin etwas ändern, und dabei durch Zufall plötzlich eine Übereinstimmung der Perioden entstehen, die eine Flutkatastrophe zur Folge haben könnte. Vielleicht braucht also Hörbiger, auch wenn er obigen Fehler korrigiert, den Einfluß von Hochfluten aus seinen geologischen Darlegungen nicht auszuschalten. Ich erwähne dies nur, um zu zeigen, daß man nicht alle Ideen in Bausch und Bogen verwirft, sondern, was physikalisch möglich erscheint, auch rückhaltlos anerkennt.

Es ist ganz unmöglich, alle Einwendungen anzuführen, die man gegen die in Rede stehende Theorie machen könnte. Ich möchte mich daher damit begnügen, auf einige Fehler gegen die Grundsätze der Mechanik hingewiesen zu haben. Ich glaube damit eine der größten Schwächen aufgedeckt und bewiesen zu haben, daß man solche Probleme nicht nach dem Gefühl behandeln kann, sondern nur mathematisch. Ich weiß wohl, daß ich Herrn Hörbiger nicht überzeugen werde, aber vielleicht andere, welche der Mathematik größeres Vertrauen entgegenbringen. Herr Hörbiger wird auch vielfach behaupten, daß ich ihn mißverstanden hätte. Das ist sehr möglich, hat aber jedenfalls seinen Grund in der Diktion des Hauptwerkes.

Endlich noch eins: Eine Kosmogonie hat nur dann einen Sinn, wenn sie sich auf der herrschenden Lehre aufbaut. Sie hat überhaupt nur die Frage zu beantworten, welches der Anfangszustand ist, aus welchem sich nach den uns bekannten Gesetzen der Physik der heutige Zustand entwickelt hat. Wie man davon abweicht, gerät man in den Bereich der Phantasie. Man darf nicht die Gesetze der Planetenbewegung leugnen, der Sonne die Wärmestrahlen nehmen, oder den spektralen Befund ignorieren. Eine solche Kosmogonie ist nicht besser fundiert als die alten Sagen, nach denen die Welt aus einer Lotosblume entstanden ist. Sollte der Verfasser mit seiner Theorie recht haben, so werden ihn künftige Generationen als einen Dichter und Seher, aber nicht als Forscher ehren, und er darf uns heute keinen Vorwurf machen, wenn wir seine Ansichten ablehnen. Es bleibt ihm dann nichts übrig, als 2 oder 3 Jahrhunderte zu warten, bis wir flügelahnen Astronomen seinem Hochflug folgen können.

## Überpflanzungen von Organen.

Von Otto Kestner, Hamburg.

Es ist ein altes Ideal der Chirurgie, für ein verlorenes oder zerstörtes Organ oder Gewebe dadurch Ersatz zu schaffen, daß man an seine Stelle Stücke desselben Menschen oder noch besser die entsprechenden Teile eines anderen Menschen oder eines Tieres einheilt. Wie weit ist das möglich? Wie weit ist es heute schon möglich und inwiefern geben uns unsere Kenntnisse heute ein Recht, von der Zukunft eine weitere Lösung des Problems zu erwarten?

Da ist zweierlei festzustellen:

1. Die Überpflanzung von Gewebsteilen auf denselben Körper, die sogenannte Autoplastik gelingt bei richtiger Technik leicht und glatt und die Chirurgen haben gerade in den letzten Jahren zum Ausgleich von Kriegsverstümmelungen oftmals Finger durch Zehen ersetzt, aus dem Arm eine neue Nase gebildet, neue Augenlider aus dem Knorpel des Ohrläppchens hergestellt



usw. Ebensovienig macht es Schwierigkeiten, bei einer Frau, die bei einer falschsitzenden Schwangerschaft große Blutmengen in die Bauchhöhle verloren hat, das Blut zu sammeln und ihr wieder einlaufen zu lassen. Zuerst ist Haut überpflanzt worden, schon vor bald 50 Jahren von *Thiersch*, heute steht im Mittelpunkt des Interesses die Verpflanzung von Fettgewebe, das *Lexer* für verschiedene Zwecke verwenden lehrte, besonders durch Zwischenlagerung zwischen zwei Knochen, die nicht miteinander verwachsen, sondern ein neues Gelenk bilden sollen. Auch Knochen, Gefäße, Muskeln lassen sich auf das gleiche Individuum transplantieren.

2. Ebenso fest steht, daß sich ein Gewebe auf eine andere Tierart nicht transplantieren läßt (Heteroplastik). Alle Angaben von einem Anheilen von Tierhaut auf Menschen haben sich als Beobachtungsfehler erwiesen. Knochen heilen wohl einmal ein wie ein totes Gewebe, wie Elfenbein, wie Seidenfäden, wie Metallröhren, aber sie wachsen niemals an und gehen keine Verbindung mit dem Gewebe ein, in das sie eingefügt sind.

Zwischen beiden steht die Homoplastik oder Homoioplastik, die Übertragung eines Organes oder Gewebes auf ein anderes Individuum der gleichen Art, also von Mensch zu Mensch oder von Hund zu Hund. Sie steht begrifflich zwischen der Autoplastik und der Heteroplastik, und genau so steht es mit ihren Erfolgen. Homoplastisch transplantierte Gewebe heilen häufig an, ganz anders als heteroplastische Stücke; und mancher Beobachter, der nicht lange genug wartete, hat schon über Erfolge berichtet. Nachher verschwinden sie dann aber doch, vereitern, stoßen sich ab oder werden aufgelöst. Praktisch kann ein solcher Erfolg, auch wenn er nur einige Wochen dauert, wertvoll sein, wenn damit die Knochen oder die Haut der Nachbarschaft Zeit zum Auswachsen gewinnen. Aber ihr schönstes Arbeitsgebiet ist damit der Transplantation genommen. Technisch ist bei der Autoplastik alles so ausprobiert, daß sie in der Hand des Erfahrenen meist gelingt. Sie geht am besten mit lebensfrischem Material, aber bei strenger Asepsis kann man die meisten Gewebe auch aufbewahren, Stücke von Gefäßen und anderes wochenlang. Technisch würde es daher möglich sein, auch Leichenteile zu transplantieren. 1907 gelang es *Alexis Carrel* vom Rockefellerinstitut in New York zuerst beim Tier, Blutgefäße durch die Naht zu vereinen, und als ich 1909 seine staunenswerte Technik sah, stand ich unter dem starken Einfluß, daß damit für den Ersatz großer Organe eine neue Zeit angebrochen sei. Er nahm Katzen beide Nieren heraus, bewahrte sie einige Stunden auf und setzte sie wieder ein, indem er Arterie mit Arterie, Vene mit Vene verband und die Harnleiter, die sich nicht nähen ließen, in die Blase einpflanzte. Er nahm Hunden die Schilddrüse heraus und pflanzte sie in die Bauchhöhle ein, indem er ihre Gefäße mit Milzgefäßen

verband. Er schnitt Tieren den Skalp mit einem Ohr ab und heilte ihn an usw. Technisch waren seine Leistungen glänzend. Die Gefäßnaht wurde bald auch beim Menschen aufgenommen und wird heute von vielen Chirurgen geübt. Für die große Frage der Organtransplantation ergab sich eine bittere Enttäuschung. Homoplastisch ließen sich Organe auch mit der Gefäßnaht nicht transplantieren, ja in der Regel sogar schlechter als ohne sie, und dabei wäre die Homoplastik so wichtig, nicht nur für die Heilung von Wunden und Verstümmelungen, an die man zunächst denkt, nein vor allem auch zur Beseitigung innerer Krankheiten. Wir kennen heute die endokrinen Drüsen oder Drüsen der inneren Sekretion, die ein lebensnotwendiges Sekret oder Hormon in das Blut hinein absondern. Eine ganze Reihe der schwersten chronischen Erkrankungen beruht auf einem Ausfall bestimmter Hormone. Versagen der inneren Sekretion der Schilddrüse bedingt Kretinismus, Myxoedem oder Wachstumsstörungen. Die meisten Fälle schwerer Fettsucht beruhen auf einem Ausfall des Vorderlappens der Hypophyse; ein Versagen der Epithelkörperchen bedingt Neigung zu Krämpfen und Zahnerkrankungen. Fehlen die Keimdrüsen, so erlischt der Geschlechtstrieb und die sekundären Geschlechtszeichen bilden sich nicht aus. Man würde also eine Menge schwerster Leiden beseitigen können, gelänge es, die endokrinen Drüsen zu überpflanzen. Dabei liegen die Dinge insofern sehr günstig, als es sich um kleine Organe handelt, deren Einheilung technisch leicht ist, keine Gefäßnaht erfordert und von denen bei der großen Wirksamkeit ihrer Hormone nur ein kleiner Teil wirklich erhalten zu werden braucht, um die Funktion zu ersetzen. Bei der Überpflanzung von Haut und Knochen ist die Operation mißglückt, wenn sie die Hälfte abstößt, von dem Hoden genügt  $\frac{1}{10}$ , um Geschlechtstrieb und normale Körperbildung zu sichern. Infolgedessen hat man sich mit Eifer auf die Überpflanzung der endokrinen Drüsen geworfen. Auch hier gelingt die Autoplastik immer, die Homoplastik dagegen in der Regel nicht.

Grundsätzlich unmöglich ist die Homoplastik freilich nicht. Zunächst geht sie bei den Pflanzen, bei denen sie in Form der Pfropfung regelmäßig geübt wird. Hierher gehört auch die Möglichkeit der Chimärenbildung bei den Pflanzen. Darunter versteht *Winkler* Bastarde, bei denen sich die väterlichen und mütterlichen Eigenschaften nicht mischen oder ein Mittelding entstehen lassen, die vielmehr aus zwei zusammengewachsenen, aber ganz verschiedenartigen Hälften bestehen, die eine rein väterlich, die andere rein mütterlich. Sodann geht die Homoplastik bei Froschlarven, bei Kaulquappen. Wie *Born* zuerst gefunden hat, kann man Kaulquappen in zwei Hälften zerlegen und so miteinander verheilen, daß das Vorderteil des einen mit dem Hinterteil des anderen Tieres verwächst

und weiterwächst. Diese große Entdeckung *Borns* ist in der Hand von *Braus* und *Harrison* unendlich fruchtbar geworden für die Aufklärung der tierischen Entwicklung. Hier gelingt sogar Heterotransplantation, die Verheilung eines halben Frosches mit einer halben Unke. Auch Regenwürmer kann man homoplastisch miteinander verheilen und durch oftmalige Wiederholung der Verheilung Riesentiere erzeugen (*Korschelt*).

In der großen Mehrzahl der Fälle gelingt sodann die Verpflanzung von Blut. Artfremdes Blut kann man einem Menschen oder einem Tiere nicht in die Blutbahn einspritzen. Die Blutkörperchen lösen sich in der fremden Flüssigkeit auf und rufen bei irgend größerer Menge baldigen Tod hervor. Schon in kleinster Menge machen sie Fieber und andere Vergiftungserscheinungen, die wohl einmal zu Heilzwecken verwendet werden, aber jedenfalls einen Blutersatz durch artfremdes Blut unmöglich machen.

Das Blut anderer Menschen kann man dagegen in Mengen bis zu einem Liter und mehr einem Menschen unbedenklich direkt in die Blutbahn einlaufen lassen. Die Methode wird gerade in allerneuester Zeit in steigendem Maße bei starken Blutverlusten und bei Erkrankungen des Blutes benutzt. Nur in einer kleinen Minderzahl von Fällen kommt es zu Vergiftungserscheinungen wie bei der Einverleibung artfremden Blutes. In der Mehrzahl bleibt das Blut mit samt seinen Formelementen in der Blutbahn des Empfängers erhalten und übt seine Tätigkeit aus.

Eine gelungene Homoplastik ist auch die Parabiose. Wie *Sauerbruch*, *Schöne* u. a. gezeigt haben, kann man bei Ratten und Hunden zwei Tiere so zusammennähen, daß ihre Haut und ihre Bauchhaut miteinander verwachsen, die Tiere also zusammenhängen wie die bekannten siamesischen Zwillinge. Bei Geschwistern geht die Parabiose sehr viel besser als bei Nichtverwandten. Das Blut strömt, wenn auch in geringem Umfange, von einem Tier in das andere, spezifische Stoffe, die in dem einen Tiere entstehen, wirken auf das andere. Die Parabiose kann zeitlebens erhalten bleiben. Die Tiere bleiben getrennte Individuen, aber ihre Gewebe sind miteinander verheilt.

Das Wichtigste endlich ist, daß auch die eigentliche Homoplastik, Übertragung losgetrennter Gewebestücke auf ein anderes Tier, bei Menschen und bei Säugetieren in einigen Fällen gelungen ist. *Schöne* zeigte an Mäusen, daß bei Geschwistern und sonstigen nahen Verwandten in einem bestimmten Prozentsatz Hautstücke sich austauschen lassen, und bei endokrinen Drüsen hat man dasselbe beobachtet. Hier sind besonders bedeutungsvoll die Versuche von *Steinach*, der bei Ratten und Meerschweinchen die Hoden und Eierstöcke vertauschen konnte und damit die Tiere anatomisch und physiologisch in das

andere Geschlecht verwandelte. In seiner ersten Mitteilung gibt *Steinach* an, daß ihm die Überpflanzung von Eierstöcken auf Männchen nur dann gelungen sei, wenn er zwei Wochen alte Meerschweinchen und Ratten als Empfänger und etwas ältere Tiere der gleichen Zucht als Spender benutzt habe. Später bespricht er nur noch die gelungenen Fälle, aus denen er etwas schließen kann, und macht keine Angaben mehr über den Prozentsatz der mißlungenen.

Auch bei Menschen sind sichere positive Ergebnisse der Einheilung von Hoden und Eierstöcken bekannt, allerdings neben sehr viel mehr mißglückten. Von anderen endokrinen Drüsen ist die Dauereinheilung von Epithelkörperchen in vereinzelten Fällen sicher, die der anderen endokrinen Drüsen immer nur vorübergehend geglückt. Freilich kann es sich bisweilen um Monate handeln, bis das Transplantat ganz verschwindet, und gerade während des Zugrundegehens, während die Zellen sich auflösen, können ihre wirksamen Inhaltsstoffe reichlich in die Blutbahn gelangen und ihre Tätigkeit ausüben.

Selbst bei den Fällen, die schließlich nicht zur Dauerheilung führen, besteht ein großer Unterschied gegenüber der Heteroplastik.

Was wissen wir nun über die Ursache des Versagens? Die Heteroplastik scheitert an der Verschiedenheit des chemischen Baues der einzelnen Arten. Daß selbst nahe verwandte Tiere, Pferd und Esel, Hund und Wolf, sich in Größe, Haut und Haarfarbe und vielen anderen Einzelheiten ihres Baues unterscheiden, weiß jeder. So ist die Anordnung der Fasern in der Linse des Auges bei jeder Tierart verschieden. Viel weniger bekannt ist, daß die Arten auch chemisch verschieden sind. Es ist noch nicht allzu lange her, da wußte man nur, daß die Gewebe und Säfte des Körpers Eiweiß enthalten und unterschied einige Gruppen von Eiweiß. Erst als *Emil Fischer* und *Kossel* die Bausteine kennen lehrten, aus denen sich die Eiweißkörper aufbauen, 17—18 Aminosäuren, deren jede einzelne vielfach vorhanden sein kann, wurde es möglich, chemische Individuen in den Eiweißkörpern zu erkennen, *Kossel* hat die Samen einer Anzahl von Fischarten durchgeprüft. Jede einzelne hat ihr eigenes Sameneiweiß oder Protamin, verwandte Arten haben ähnliche, aber niemals gleiche Eiweiße. Der rote Blutfarbstoff scheidet sich leicht in schönen Kristallen aus. *Reichert* hat gezeigt, daß die Kristallformen bei jeder Tierart anders und für die Tierart spezifisch sind. Das wichtigste Unterscheidungsmittel ist die sogenannte biologische oder Immunitätsreaktion. Spritzt man einem Kaninchen, einer Ziege oder einem Pferd (bei anderen Tieren geht es auch, aber nicht so gut) einige Kubikzentimeter der Blutflüssigkeit eines Hundes ein, so ist das Eiweiß „Antigen“, und im Kaninchenblut bildet sich nach 10—14 Tagen ein „Antikörper“ gegen das Eiweiß. Entnimmt man ihnen nach dieser



Zeit Blut, so gibt seine Flüssigkeit mit der des Hundes einen Niederschlag (Präzipitinreaktion). Das Präzipitin ist streng spezifisch gegen Hundeblood. Blut von Wolf oder Fuchs gibt noch einen schwachen, das aller anderen Tiere gar keinen Niederschlag. Immunisiert man nicht gegen die Blutflüssigkeit, sondern die Blutkörperchen, so gibt es eine Immunität gegen diese; das Blut des Kaninchens besitzt nun die Fähigkeit, die betreffenden Blutkörperchen aufzulösen. Die Immunität gegen Hühnerblut erstreckt sich auch auf das Eiweiß der Hühnereier, die gegen Rinder-serum auch auf die Kuhmilch. Wie weit sie auch die Eiweißkörper der Gewebe umfaßt, ist unsicher. Die beweglichen Zellen, Flimmerzellen und Samenfäden, werden durch besondere Präzipitine gelähmt und geschädigt.

Durch diese Untersuchungen ist also eine chemische Artspezifität erwiesen, und wir brauchen uns nicht mehr zu wundern, daß die Heteroplastik nicht geht. Kommen doch die transplantierten Gewebe mit Blut in Berührung, in dem unter ihrer Einwirkung sich Antikörper bilden müssen, die sie dann selbst töten und auflösen. Können wir aber chemisch oder biologisch auch Verschiedenheiten zwischen Individuen einer Art nachweisen? Für die Blutflüssigkeit hat sich bisher auch durch biologische Reaktionen ein solcher Unterschied nicht nachweisen lassen. Dagegen ist es gelungen, bei verschiedenen Menschen Unterschiede in den Blutkörperchen nachzuweisen. Vier Gruppen von Menschen lassen sich deutlich unterscheiden. Die Besonderheit des Blutes ist vererbbar, so daß bei nahen Verwandten die Wahrscheinlichkeit chemischer Übereinstimmung größer ist.

Damit ist ein Anhaltspunkt für chemische Unterschiede zwischen Individuen einer Art gegeben. Ein guter Teil der Schwierigkeiten wird durch die Abweichungen des chemischen Baues verständlich. Von größter Bedeutung ist vor allem der Befund von *Braus*, daß die Froschlarven noch keine Eiweißkörper haben, die Antigene sein und Antikörper bilden können. Der erwachsene Frosch hat artspezifisches Eiweiß so gut wie die höheren Tiere, so gut wie die Wirbellosen, die man bisher daraufhin untersucht hat, Krebse und Mollusken. Daß überhaupt eine Bastardbildung möglich ist, kann man darauf zurückführen, daß die Keime noch kein arteigenes Eiweiß besitzen, was allerdings außer bei Fröschen nicht geprüft ist. Und das Scheitern der Homoplastik außer bei nahen Verwandten beruht darauf, daß bei den höheren Tieren wenigstens für die roten Blutkörperchen Individualspezifität nachgewiesen ist.

Es liegt sehr nahe und ist oft geschehen, die ganze Frage der Plastik auf die chemischen Besonderheiten der Eiweißkörper zurückzuführen. Daß die Homoplastik mit Gefäßnaht besonders schlecht geht, liegt an der innigen Berührung, in die das fremde Blut mit den Geweben tritt.

Auch daß man durch vorherige Behandlung des Empfängers mit dem Blute des Spenders die Überpflanzung nicht verbessert, sondern verschlechtert (*Schöne*), würde hierzu stimmen. Indessen frühzeitiges Verallgemeinern hat sich in der Wissenschaft noch immer gerächt. Solange sich in dem Gewölbe eines Beweises noch die kleinste Lücke findet, ist er nicht geschlossen. Gerade die winzigen Löcher sind es, durch die der Forscher seinen Weg ins Freie findet. Man übertüncht sie, wenn man aus den Beobachtungen zu früh ein schönes geschlossenes Lehrgebäude aufbaut.

Hier klaffen noch einige Lücken:

1. nämlich stimmen die praktischen Erfahrungen bei der Einverleibung von Blut mit der Gruppeneinteilung des menschlichen Blutes in die 4 oben genannten Gruppen nicht immer überein;
2. ist es nicht verständlich, wieso eine Parabiose möglich ist, dann aber bei den parabiologisch lebenden Tieren die Vertauschung von Hautstücken mißlingt;
3. stimmt in den Versuchen von *Braus* die Zeitgrenze, bis zu der die Zusammenheilung geht, und die, von der ab besondere Eiweißkörper da sind, nicht ganz überein;
4. passen die Verhältnisse bei den Pflanzen nicht ins System. Bei den Pflanzen ist nämlich die Arteigenheit der Eiweißkörper genau so gut vorhanden wie bei den Tieren. Der Amerikaner *Osborne* hat die Eiweißkörper nahe verwandter Pflanzensamen, Erbse, Bohne, Sojabohne, Wicke oder Weizen, Roggen, Gerste so genau untersucht, wie *Kossel* das Eiweiß der Fischhoden, und hat ebenso große und regelmäßige Unterschiede gefunden. Auch durch die Präzipitinreaktion lassen sich pflanzliche Eiweißkörper so gut gegeneinander abgrenzen, wie die der Tiere. Und doch gibt es bei Pflanzen eine Pflanzung und eine Chimärenbildung und bei den Tieren nicht.

Was wir heute über chemische Unterschiede zwischen den Tierarten und vielleicht zwischen den einzelnen Individuen derselben Art wissen, genügt also nicht. Wir müssen schon etwas weniger Faßbares hinzunehmen, den Begriff der Individualität. Als ganz allgemeines Gesetz gilt von den einzelligen bis zu den höchsten Tieren, daß zwei lebende Wesen nicht miteinander verschmelzen können. Alle voll entwickelten Zellen vermögen sich zu teilen, eine Vereinigung gibt es nur in einem Falle, bei der Verschmelzung des Eies mit dem männlichen Samen zur weiteren Entwicklung. Weder können zwei Organismen je zu einem werden, noch zwei Zellen in einem Organ sich je zu einer zusammenlegen. Wir haben bisher gar keinen Anhalt dafür, daß die Vereinigung durch chemische Unterschiede zwischen den Einzelzellen oder zwischen den Einzelwesen verhindert wird, und die chemische Verschiedenheit auf Grund der Nichtverschmelzbarkeit vorauszusetzen, hieße die Logik auf den Kopf stellen. Bei den Pflanzen gibt es Ver-

schmelzungen. Im Walde kann man gelegentlich zwei Bäume sehen, die aus verschiedenen Wurzeln entsprossen, also zwei Individuen sind, und deren Stämme oben zu einem Stamme verschmelzen. Bei Tieren würde so etwas als ganz unmöglich erscheinen. *Dante* beschreibt im 25. Gesange der Hölle, wie eine Schlange einen Menschen umklammert und aus beiden ein Individuum wird, sagt aber selbst, er habe seinen Augen nicht getraut.

Vielleicht löst sich die Individualität noch einmal in chemische Unterschiede auf, heute wäre es verfrüht, das schon als sicher annehmen zu wollen. Halten wir uns nur an die Tatsachen, so sagen sie uns, daß die Homoplastik als Regel nicht geht, aber in Ausnahmefällen Erfolg hat. In diesem Falle ist das Nichtwissen befriedigender als es das Wissen wäre. Denn wären wir sicher, daß der chemische Unterschied die Homoplastik verhindert, so wäre sie für immer ein schöner Traum. Solange die Individualität noch ein unklarer Begriff ist, so lange dürfen wir hoffen, daß sich in Zukunft Mittel finden werden, die Homoplastik zu erweitern.

#### Literatur:

- E. Lexer*, Die freien Transplantationen, Bd. 1, Stuttgart 1919.  
*G. Schöne*, Beiträge zur klinischen Chirurgie 99, 233, 1916.  
*H. Braus*, Arch. f. Entwicklungsmechanik 22, 564, 1906.

## Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie<sup>1)</sup>.

Von C. Pulfrich, Jena.

(Fortsetzung.)

### 10. Die bisherigen Schwierigkeiten beim Vergleich der Helligkeiten zweier Farben.

Nach derselben Methode wie *S. Exner* hat später *A. Kunkel* (Pflügers Archiv 9, S. 197, 1874) versucht, die Zeiten zu bestimmen, welche die verschiedenen Teile des prismatischen Spektrums brauchen, um zum Maximum der Empfindung zu gelangen. Auch er fand, daß für die von ihm benutzten Spektralbezirke „Blau“, „Grün“ und „Rot“ das Empfindungsmaximum bei einem stärkeren Reiz — größere Spaltbreite des Spektralapparates — schneller erreicht wird als bei einem schwächeren. Nur waren in Betracht des Umstandes, daß als Lichtquelle nicht wie bei *Exner* durch Gasflammen erhellte Scheiben, die mit weißem Papier überzogen waren, benutzt wurden, sondern das spektralzerlegte sehr viel hellere Licht der Petroleumflamme, die Anstiegszeiten erheblich kleiner als bei *Exner*, nämlich für Blau 0,102 sec., für Grün 0,097 sec.

und für Rot 0,057 sec.; gegenüber 0,15 bis 0,28 sec. bei *Exner*. Weiter hat die Arbeit keinen Wert. Denn sie besagt einmal nichts über die mittlere Wellenlänge der benutzten Spektralbezirke — es wurde nämlich immer aus dem Gedächtnis auf den gleichen Farbenton eingestellt (1) —, dann aber auch nichts zur Beantwortung der Frage, ob und inwieweit an den Anstiegszeiten die Farbe oder die Helligkeit des Spektralbezirkes beteiligt ist. Nach unseren weiter unten dargelegten Beobachtungen mit dem Stereo-Spektralphotometer scheidet die Farbe als Ursache für die Verschiedenheit der Anstiegszeiten ganz aus, und wir haben darin nur die Auswirkung der in den einzelnen Spektralbezirken herrschenden Helligkeiten zu erblicken. Daß von den drei obigen Zahlen die für Blau größer ist als die für Grün, ist verständlich, da beide Farben auf derselben Seite des Maximums der Helligkeit liegen und Blau von dem Maximum weiter entfernt und daher weniger hell ist als Grün. Der angegebene Wert aber für den Spektralbezirk Rot, der auf der anderen Seite des Maximums der Intensitätskurve liegt, hätte ebenso gut gleich dem für Grün oder größer sein können. Daß er kleiner ist, ist ein Beweis dafür, daß der von *Kunkel* benutzte Spektralbezirk Rot sehr viel näher am Helligkeitsmaximum lag, als der von ihm benutzte Spektralbezirk Grün.

*Kunkel* hat dann noch versucht, seine Messungen auf Spektralfarben von angeblich gleicher Helligkeit zu reduzieren. Da aber hierzu ganz willkürliche Annahmen gemacht werden aus Mangel an einem festen Anhalt für die Anerkennung der Gleichheit der Helligkeit verschiedenfarbiger Lichter, so ist dieses Unternehmen als gescheitert anzusehen.

Die Schwierigkeiten beim Vergleich der Helligkeiten zweier Farben sind ja außerordentlich groß, und es ist allen bisher hierfür angegebenen Methoden nicht gelungen, sie zu überwinden. *Fraunhofer* und *Arthur König* haben versucht, allein durch subjektiven Vergleich der Farben untereinander bzw. der einzelnen Farben mit weißem Licht die Helligkeitsverteilung im Sonnenspektrum zu ermitteln. Die Resultate sind sehr wenig übereinstimmend. *Helmholtz* hat in seiner Physiolog. Optik, 2. Aufl., S. 440 u. ff. wiederholt erklärt, daß er sich ein Urteil über Gleichheit heterochromer Helligkeiten nicht zutraue. „Für mich selbst“, sagt *Helmholtz*, „habe ich durchaus den sinnlichen Eindruck, daß es sich bei heterochromen Helligkeitsvergleichen nicht um Vergleichen einer Größe, sondern um das Zusammenwirken von zweien, Helligkeit und Farbenglut, handelt, für die ich keine einfache Summe zu bilden weiß und die ich auch wissenschaftlich noch nicht definieren kann.“

Daß wir es hierbei in der Tat mit zwei voneinander gänzlich verschiedenen Empfindungen zu tun haben, beweist schon allein der Umstand,

<sup>1)</sup> Im Auszug vorgetragen auf dem Physikertag in Jena am 21. IX. 1921.



daß für den Fall der Farbenblindheit immer noch die andere Empfindung, die der Helligkeit, fortbesteht. Im übrigen trifft der von *Helmholtz* angewandte Ausdruck Farbenglut nicht für alle Farben zu. Rot und gelb nennt man bekanntlich *warme* Farben, grün und blau *kalte* Farben, und jedermann weiß, daß eine Landschaft selbst bei trübem Wetter durch ein gelbes oder rotes Glas gesehen, geradezu aufleuchtet, während eine Landschaft, selbst bei Sonnenbeleuchtung durch ein grünes oder blaues Glas betrachtet, einen kalten Eindruck hervorruft. Es ist daher begreiflich, daß man im allgemeinen versucht ist, rote und gelbe Farben als heller und grüne und blaue als weniger hell anzusehen, als sie in Wirklichkeit sind. Ich komme auf diesen Unterschied in den Schlußbemerkungen zu dieser Schrift noch einmal zurück.

Ich will über die anderen für den Vergleich heterochromer Helligkeiten angegebenen Methoden nur kurz hinweggehen, da sie in Wirk-

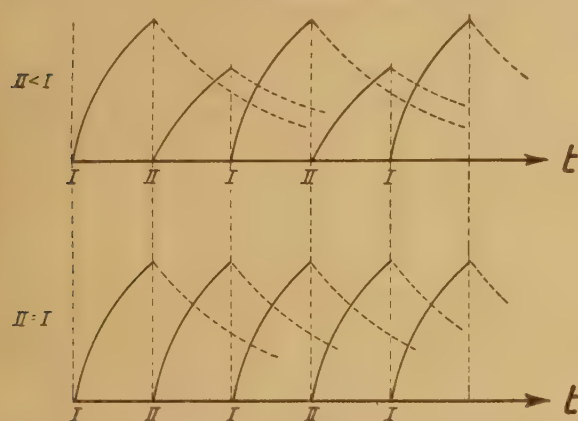


Fig. 11. Verlauf der Empfindungen bei einem periodischen Wechsel zweier Helligkeiten *I* und *II* (Flimmerverfahren).

lichkeit nur *Notbehelfe* oder *Umgehungen der Aufgabe* darstellen. Dahin gehören die Sehschärfenmethode, die Messung der Pupillenweite, die Benutzung der stark exzentrisch gelegenen Teile der Netzhaut, in denen die farben-tüchtigen Empfindungselemente fehlen, ferner die Vergleichung der Helligkeiten im Dämmersehen an der unteren Grenze der Lichtstärke, wo mit den Farben ihre Verschiedenheit verschwindet, und endlich die Verwendung von Farben-blinden. Vielleicht die beste unter allen bisher für die Zwecke der heterochromen Photometrie benutzten Methoden ist die sog. *Flimmermethode*: Es werden die miteinander zu vergleichenden heterochromen Helligkeiten in schnellem Wechsel dem Auge zugeführt, und man ändert die eine der beiden Helligkeiten so lange ab, bis ein *Minimum* des *Flimmerns* eintritt. Auch gegen diese Methode lassen sich mancherlei Bedenken geltend machen, und die mit ihr erhaltenen Resultate sind im allgemeinen wenig zuverlässig. Doch ist ihr die innere Berechtigung nicht ab-

zusprechen, wie ein Blick auf die nebenstehende Fig. 11 zu erkennen gibt. Als Abszisse ist die Zeit und als Ordinaten sind die durch die periodisch wiederkehrenden Belichtungen hervorgerufenen Empfindungen aufgetragen. In der oberen Figur ist angenommen, daß die miteinander verglichenen heterochromen Helligkeiten verschieden ( $II < I$ ), in der unteren, daß sie gleich groß seien. Wie die Übereinanderlagerung der Empfindungen in ihrem Anstieg und in ihren Nachbildern sich vollzieht, sei dahingestellt. Jedenfalls bringt die Herbeiführung gleicher Helligkeiten die sämtlichen Empfindungsmaxima auf die gleiche Höhe und reduziert die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden *gleichgroßen* Maximis — entsprechend der Einstellung auf das Minimum des Flimmerns — auf die Hälfte.

Im übrigen stimme ich mit manchem Physiker und manchem Physiologen darin überein, wenn ich sage, daß es eine eigentliche Photometrie heterochromer Lichter bisher nicht gegeben hat. Was uns fehlt, sagt Herr v. Kries, der Herausgeber des 3. Bandes der 3. Auflage von *Helmholtz* Physiolog. Optik, ist eine Methode, bei der die Beurteilung der Gleichheit zweier heterochromer Helligkeiten sich gründet auf ein bestimmtes physiologisches Element. So lange das nicht gefunden, sei man nicht berechtigt, zwei heterochrome Helligkeiten als gleich hell anzusehen.

#### 11. Die Zeitdifferenz der beiden Empfindungen bildet den Anhalt für den Vergleich und die Messung heterochromer Helligkeiten.

Das am Ende des vorigen Abschnittes erwähnte physiologische Element, welches die Lösung der Aufgabe bringen soll, ist, wie mir scheint, jetzt gefunden. Denn das Kreisen der Marke tritt auch ein, wenn man, wie bereits oben erwähnt wurde, ein Farbfilter von beliebiger Färbung an Stelle des Rauchglases vor ein Auge hält. Alle solche Farbfilter halten von dem auffallenden weißen Licht einen bestimmten Teil zurück, so daß das hindurchgegangene Licht unter allen Umständen schwächer ist als das auffallende. Es ist daher nach den bisherigen Darlegungen ganz natürlich, daß das so geschwächte Licht längere Zeit braucht, um zur Perzeption zu gelangen, als das ungeschwächte, und ferner, daß diese Verzögerung der Perzeption den gleichen Stereo-Effekt hervorbringt, wie wir ihn an Rauchgläsern beobachtet und in seinem Entstehen durch Fig. 5 veranschaulicht haben. Es steht daher auch gar nichts im Wege, nach diesem Verfahren zwei verschiedene Farbfilter nach dem Grade ihrer Durchlässigkeit miteinander zu vergleichen, indem man das eine vor das eine Auge und das andere vor das andere Auge hält. Die Beobachtung der kreisenden Marke entscheidet dann sofort nach Größe und

Vorzeichen über den Helligkeitsunterschied der beiden Farbfilter.

Wir gelangen also damit zu der folgenden *Definition gleicher Helligkeiten*: Wir bezeichnen die Helligkeiten zweier Farben als gleich, wenn die Zeit zwischen Erregung und Empfindung für beide Farben gleich groß ist, und erkennen diese Gleichheit daran, daß in dem Augenblick, in dem die als kreisende Marke der Beobachtung zugänglich gemachte Zeitdifferenz der beiden Empfindungen verschwindet, die kreisende Bewegung in eine geradlinige übergeht. Das ist eine Definition, die für weiße und isochrome Lichter keiner Begründung bedarf. Denn sie gibt nur das wieder, was die Tatsachen besagen. Indem wir dieselbe Definition auch auf heterochrome Lichter ausdehnen, sind wir uns bewußt, damit eine Art Extrapolation zu begehen, die man nicht beweisen, aber auch nicht widerlegen kann. Jedenfalls ist sie in erster Annäherung richtig, und spätere Untersuchungen mögen darüber entscheiden, wie weit diese Annäherung reicht. Einstweilen begnügen wir uns damit,



Fig. 12. Die Rechtsdrehung der Marke geht mittels einer Schleife in die Linksdrehung über.

denn wir haben so für alle Lichter, isochrome und heterochrome, eine einheitliche Definition, einen einheitlichen Vergleichsmaßstab und den großen praktischen Vorteil, damit ein ganz erhebliches Stück weiter zu kommen als bisher möglich war.

Das Meßprinzip, das wir den im II. Teil dieser Abhandlung zu besprechenden Konstruktionen von Stereo-Photometern zugrunde zu legen haben, besteht also darin, daß wir den bei ungleichen Helligkeiten auftretenden scheinbaren Tiefenunterschied zwischen der bewegten und der ruhenden Marke durch Herbeiführung gleicher Helligkeiten zum Verschwinden bringen. In der Stereoskopie ist es nicht anders als in der Photometrie. Die wahre Größe des Tiefenabstandes zweier Körper können wir im stereoskopischen Sehen ebenso wenig angeben, wie beim Anblick von zwei verschiedenen hellen Flächen den Helligkeitsunterschied. Wir können nur angeben, welcher der beiden Körper weiter entfernt ist und welche der beiden Helligkeiten die größere ist. Wohl aber können wir mit größter Sicherheit auf das Verschwinden des Tiefenunterschiedes und auf das Verschwinden des Helligkeitsunterschiedes einstellen und haben

dann hier wie dort in den Maßeinheiten des zur Einstellung auf Gleichheit benutzten Meßapparates ein Maß für den Unterschied.

Zur Demonstration des Meßprinzips machen wir wieder den oben (S. 557) beschriebenen Versuch mit dem an die Fensterscheibe geklebten Bleistift und geben dem Beobachter außer dem auf seine Helligkeit zu untersuchenden Rauch- oder Farbglas noch einen Rauchkeil in die Hand. Das Rauchglas lasse man ihn vor das eine, den Rauchkeil in vertikaler Lage vor das andere Auge halten, und zwar so, daß das Auge an der dünnsten Stelle des Rauchkeiles hindurchschaut. Während man nun den zweiten Bleistift auf der Scheibe hin und her bewegt, hat der Beobachter den Keil langsam in vertikaler Richtung zu verschieben. Er wird dann erkennen, daß die anfänglich beobachtete Kreisbewegung des Stiftes — rechts herum, wenn der Keil vor dem rechten Auge sich befindet — nach und nach in eine geradlinige und gleich darauf wieder in eine kreisende, aber mit entgegengesetzter Bewegungsrichtung, übergeht.

Verschiebt man den Rauchkeil mit gleichmäßiger Geschwindigkeit, so kommt die Erscheinung der Geradlinigkeit der Bewegung des Stiftes nicht recht zur Geltung. Man beobachtet vielmehr eine Art Schleife, mehr oder weniger übereinstimmend mit dem in Fig. 12 wiedergegebenen Verlauf. Man muß also, und das ist eine für alle nach dem Stereo-Verfahren gebauten Photometer wohl zu beachtende Vorschrift, in der Nähe der kritischen Stelle jedesmal für einen Augenblick Halt machen und während dieser Zeit die Prüfung der Geradlinigkeit vornehmen.

Im Auditorium gibt man tunlichst jedem Zuhörer ein Rauchglas oder ein Farbglas und einen Rauchkeil in die Hand und projiziert mit Hilfe der in Fig. 4 wiedergegebenen Einrichtung das Schattenbild der bewegten und der ruhenden Marke auf den Schirm.

## 12. Steigerung der Meßgenauigkeit durch eine etwas andere Anordnung der kreisenden Marke.

Wir können den Stereo-Effekt, auf dessen Verschwinden einzustellen ist, unter sonst gleichen Umständen auf seinen doppelten Betrag bringen, wenn wir nach einem Vorschlag eines meiner Kollegen im Zeißwerk, des Herrn Dr. Sander, die bisher als ruhend angesehene Marke *n* ebenfalls hin und her gehen lassen, und zwar derart, daß die Bewegungen von *m* und *n* einander entgegengesetzt sind und so erfolgen, daß die Marken sich jedesmal in der Mitte des Gesichtsfeldes begegnen (s. Fig. 13 b). Es kreisen dann beide Marken in gleichem Sinne und mit der gleichen Geschwindigkeit um denselben Mittelpunkt, und man hat den sinnlichen Eindruck, als liefen sie mit einem Phasenunterschied eines halben Umlaufs hintereinander her (s. Fig. 13 b). In der Mitte des Gesichtsfeldes, da, wo sich die beiden



Marken begegnen, gehen die beiden Raumbilder mit einem Tiefenabstand aneinander vorbei, der doppelt so groß ist als der Tiefenabstand der bewegten Raumbildmarke von der ruhenden (s. Fig. 13 a). Für die Messung bedeutet diese Steigerung des Tiefenabstandes somit eine Verdoppelung der Meßgenauigkeit bei gleicher Geschwindigkeit der Bewegung.

Wir benutzen zur Demonstration dieser Erscheinung denselben Apparat (Fig. 4, S. 557), den wir auch zur Demonstration der kreisenden Marke benutzt haben. Die hierzu dienenden Hilfseinrichtungen wurden bereits früher S. 558 (Fußnote) angegeben.

Über den Vorteil dieser Anordnung gegenüber der bisherigen sind sich die Beobachter, die ich um ihr Urteil gefragt habe, ebensowenig wie über die Größe der Ausschläge, die man der kreisenden Marke durch Veränderung des Radius  $r$

Beobachtern bestätigt wird. Mir scheint das auch ganz begreiflich, denn jetzt hat die Marke  $m$  in der Zeit, in der sie sich der Marke  $n$  nähert und von ihr sich wieder entfernt, im Raumbild, also an ihr in der Blickrichtung nach der Tiefe vorbeifliegt, nur eine geringe seitliche Bewegung, ganz im Gegensatz zu der tiefsten Lage der kreisenden Marke, wo die Änderung des Tiefenunterschiedes gegen die feststehende Marke gering, die seitliche Verschiebung senkrecht zur Blickrichtung aber sehr groß ist. Wir können also jetzt eine sehr viel größere Geschwindigkeit in der Bewegung der kreisenden Marke und auch einen sehr viel größeren Radius der Kreisbewegung anwenden als vorher, ohne daß die an  $n$  vorbeifliegende Marke  $m$  aufhört, erkennbar zu sein, so wie das bei der früheren Beobachtungsmethode der Fall ist, wenn die Geschwindigkeit ein gewisses Maß überschreitet (vgl. die

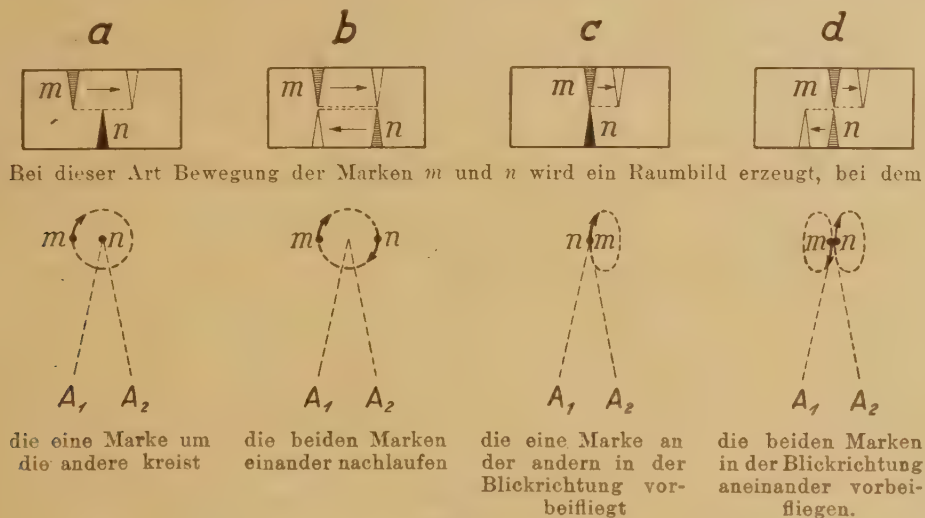


Fig. 13.

der Drehscheibe zu geben hat, und über die Geschwindigkeit der Bewegung einig. Einer dieser Beobachter hat mir erklärt, daß er glaube, am besten einstellen zu können, wenn man die Marke  $n$  ganz in Wegfall bringt.

Herr Geheimrat *Haber*, dem ich eines der ersten Versuchsinstrumente mit einer ruhenden und einer bewegten Marke für die vom ihm beabsichtigte Untersuchung kolloidaler Lösungen zur Verfügung gestellt hatte, hat mir nach mehrmonatiger Beschäftigung mit dem Apparat den Vorschlag gemacht, die bewegte Marke  $m$  nicht um die ruhende  $n$ , sondern um einen seitwärts gelegenen Punkt kreisen zu lassen (siehe Fig. 13 c), dessen Abstand von der Marke  $n$  gleich ist dem Radius der Drehscheibe. In solchem Falle hat dann die Marke  $m$  — man vergleiche auch den in Fig. 7 S. 561 angegebenen Verlauf der Kurven gleicher Zeitparallaxen — in dem Augenblick, in dem sie an der feststehenden Marke  $n$  vorbei kommt, die größte Beschleunigung nach der Tiefe. Die Beobachtung sei sehr viel bequemer, was mir auch von anderen

Bemerkungen über die am Stereo-Komparator vorgenommenen Messungen S. 553).

Ich möchte hier noch auf einen anderen sehr wichtigen Vorteil dieser Anordnung aufmerksam machen. Die beiden früheren durch Fig. 13 a und b gekennzeichneten Anordnungen verlangen nämlich ein für den ganzen Verlauf der kreisenden Marken tunlichst gleichmäßig beleuchtetes Gesichtsfeld, was bei den weiter unten zu besprechenden Stereo-Photometern nicht immer leicht zu erreichen ist, denn bei dem Kreisen der Marken achtet man weniger auf einzelne Teile der Kreisbahn als vielmehr auf den Gesamteindruck. Jetzt ist das anders, da die Aufmerksamkeit des Beobachters ausschließlich auf den Teil des Gesichtsfeldes gerichtet ist, wo die Marke  $m$  an der feststehenden  $n$  in der Blickrichtung vorbeifliegt. Daß man diesen Teil in die Mitte des Gesichtsfeldes legt, ist selbstverständlich, es steht auch nichts im Wege, diesen Teil des Gesichtsfeldes durch Abblendung der übrigen Teile zu isolieren.

Man kann sogar in Verfolgung dieser Methode

noch einen Schritt weiter gehen, indem man auch hier die ruhende Marke  $n$  in Bewegung setzt, jetzt aber so, daß  $m$  und  $n$  aufeinander zulaufen und in dem Moment, in dem sie sich treffen, oder kurz vorher, oder kurz nachher wieder auseinandergehen (s. Fig. 13 d). Es entstehen dann wieder zwei in gleicher Richtung kreisende Raumbilder, die aber, sofern der Abstand der beiden Kreismittelpunkte gleich ist dem doppelten Radius der Drehscheibe, in dem Moment der Begegnung die entgegengesetzte Bewegungsrichtung nach der Tiefe haben. Der Erfolg dieser Anordnung ist also eine noch weitergehende Steigerung der Meßgenauigkeit.

Die Vorführung auch dieser Erscheinungen auf dem Projektionsschirm mit Hilfe des Apparates in Fig. 4 begegnet keinerlei Schwierigkeiten.

Ich habe oben auf Seite 558 ein einfaches Experiment beschrieben, wie man auch ohne Projektionsapparat allein mit zwei Bleistiften das Kreisen der Marke zeigen kann. In gleicher Weise lassen sich auch die übrigen Erscheinungen vorführen. Insonderheit bei 13 c kehrt man in der Bewegung des hin und her gehenden Bleistiftes jedesmal bei dem an der Fensterscheibe befestigten Bleistift um. Bei der Vorführung der Erscheinungen 13 b und 13 d nimmt man in jede Hand einen Bleistift, hält sie nebeneinander in gleicher Höhe und bewegt sie übereinander und gegeneinander, wie in der Fig. 13 angegeben.

### 13. Auswahl geeigneter Beobachter.

Die stereophotometrische Methode stellt an den Beobachter Anforderungen, die den bisherigen photometrischen Methoden völlig fremd sind. Der Beobachter muß nicht allein stereoskopisch sehen können, was ja bei der Mehrzahl der Menschen der Fall ist, er muß auch *gut* stereoskopisch sehen können, wenn er an Genauigkeit das aus der Methode herausholen will, was sie zu leisten imstande ist. Wer daher nicht über ein gutes stereoskopisches Sehvermögen verfügt, hat wenig Aussicht, mit den Stereo-Photometern Ersprießliches zu leisten. Er wird es auch nie lernen, die Übung kann ihm nicht ersetzen, was ihm die Natur versagt hat.

Der Verwendung eines Beobachters zu stereophotometrischen Messungen sollte daher eine eingehende Prüfung desselben an der Hand der von mir im Jahre 1908 entworfenen *Prüfungstafel für stereoskopisches Sehen* (Meß 204) — mit Schlüssel und Stereoskop zu beziehen von Carl Zeiß, Jena — vorangehen, mit dieser Prüfungstafel deshalb, weil sie für die Beurteilung der Fähigkeit des Beobachters im stereoskopischen Sehen einen genauen ziffernmäßigen Anhalt bietet. Jedenfalls sollte man bei der Veröffentlichung von Messungsergebnissen und von Genauigkeitsangaben für die vorliegende Methode niemals unterlassen, auch über das Ergebnis dieser Prüfung zu berichten.

Die richtige Bewertung eines Beobachters für stereophotometrische Messungen ist deshalb von besonderer Bedeutung, weil ein an der Hand der Prüfungstafel festgestellter Defekt des Beobachters im stereoskopischen Sehen in der Regel auf einem *Unterschied* im Sehvermögen der beiden Augen beruht. In solchen Fällen hat dann das schwächere Auge nicht nur eine geringere Sehschärfe, es *ermüdet* auch schneller, was dann zur Folge hat, daß die Perzeption eines Lichteindrucks in diesem Auge längere Zeit in Anspruch nimmt als in dem anderen Auge. Man braucht sich daher nicht darüber zu verwundern, wenn ein Beobachter, der mit einem solchen Unterschied der beiden Augen behaftet ist, entweder sofort oder erst nach einiger Zeit ein Kreisen der Marke auch dann wahrnimmt, wenn die Helligkeiten für beide Augen genau gleich sind. Ich habe auf solche Fälle bereits früher (S. 558) hingewiesen. Gewiß können auch solche Beobachter mit zu Messungen herangezogen werden unter Beachtung der Vorschrift natürlich, daß man das zu messende Objekt einmal vor das rechte und dann vor das linke Auge setzt und aus den Messungen das Mittel bildet. Aber besser ist, nur solche Personen zu verwenden, die auch die letzten Feinheiten der Prüfungstafel zu erkennen vermögen, da bei diesen jeder Verdacht einer ungleichen Perzeption und einer ungleichen Ermüdung ausgeschlossen ist.

Es ist mir am 10. März d. J. nach einem vor der „Physikalisch-technischen“ und der „Beleuchtungstechnischen Gesellschaft“ in Berlin gehaltenen Vortrage über den vorliegenden Gegenstand von einem der Herren Diskussionsredner entgegengehalten worden, daß der neuen Methode doch wohl ein gewisses persönliches Moment anhafte, das es zweifelhaft erscheinen lasse, daß verschiedene Beobachter übereinstimmende Resultate erhalten. Das ist sicher so, aber daran ist nicht die Methode, sondern der Beobachter selbst schuld. Tatsächlich sind bisher alle Abweichungen zwischen den Angaben verschiedener Personen bei der Messung eines und desselben Helligkeitsunterschiedes auf Defekte im stereoskopischen Sehvermögen des einen oder des anderen Beobachters zurückzuführen gewesen, während die Angaben derjenigen Personen, die ein vollwertiges stereoskopisches Sehvermögen besitzen, unter sich innerhalb der zulässigen Beobachtungsfehler übereinstimmen. Es entspricht das nicht nur meinen Erfahrungen allein. Herr Geheimrat *Haber* hat sich bei Gelegenheit der vorerwähnten Diskussion in genau dem gleichen Sinne ausgesprochen. Sein Urteil gründet sich auf die Messungen, die er, sein Assistent Herr *F. Matthias* und einige andere Herren vom *Kaiser-Wilhelm-Institut* mit dem ersten im vorigen Herbst provisorisch zusammengestellten Versuchsinstrument ausgeführt haben. Inzwischen hat das Institut einen anderen Apparat in wesentlich besserer Ausführung erhalten, und Herr *Matthias* berichtet über die mit diesem



Apparat gemachten Erfahrungen in einem an mich gerichteten Schreiben vom 16. April d. J. wie folgt: „Es haben außer mir auch andere Herren des Instituts gute Resultate mit dem neuen Photometer erzielt. Als besonders erfreulich kann ich die Tatsache mitteilen, daß die Meßergebnisse von drei Beobachtern auf durchschnittlich 2 % übereinstimmen. Die Empfindlichkeit steigt mit der Übung. Herren, die noch niemals mit dem Apparat gearbeitet haben, erreichen eine Genauigkeit von 6—8 %, nach einiger Übung stieg sie auf 2—3 %. Die Ermüdungserscheinungen, die sich früher so lästig bemerkbar machten, treten bei dem neuen Apparat nicht mehr in die Erscheinung.“

Fortsetzung und Schluß (II. Teil: Anwendung der neuen Methode) folgen einige Hefte später.

## Besprechungen.

**Abel, O., Lebensbilder aus der Tierwelt der Vorzeit.** VII, 639 S., 1 farbiges Titelbild und 507 Abbildungen im Text. Jena, Gustav Fischer, 1922. Preis geh. M. 120,—; geb. M. 150,—.

Abel baut die Paläobiologie konsequent und rastlos weiter aus. In seinem berühmten ersten Buch, das immer ein Markstein bleiben wird, trug er Beispiele zusammen, die zeigen sollten, wie die Kenntnis des Skeletts der Tiere der Gegenwart und ihrer Lebensweise benutzt werden müssen, um aus der Untersuchung der Tierreste aus der Vorzeit ihr Lebensbild wieder aufzubauen. In seinem neuen Buch geht er weiter. Die Umwelt der fossilen Tiere mit ihren Einflüssen auf Leben und Gestalt lockt ihn. Und da wir in den Schichtgesteinen jeder Epoche, die die Tierreste bergen, viele Anzeichen von großer Bedeutung finden, da uns ferner die Flora, die Korallen und andere stenotherme Organismen über das Klima einiges sagen, so schreibt er eine Anzahl Lebensbilder, d. h. er baut aus den oft spärlichen Resten die Landschaften wieder auf, in denen die Tiere der Vorzeit lebten. Daß er von der Gegenwart ausgeht und über die Eiszeit zu älteren und schwieriger zu deutenden Problemen fortschreitet, ist klug und didaktisch richtig. Besonders erfreulich ist ferner, daß er aus Steppe und Wüste, aus dem Urwald, vom blendend weißen Strand des Meeres und aus den vergifteten Tiefen der schlammigen Meeresbuchten seine Bilder wählt. Seine Beispiele sind klassische Fundstellen; von diesen wird die Forschung ausgehen müssen, um zu weniger deutlichen Plätzen fortzuschreiten. Abels neues Buch wird als das erste, das diese Fragen zusammenfassend behandelt, dabei stets ein ausgezeichneter Führer sein.

Fr. Drevermann, Frankfurt a. M.

**Das Pflanzenreich** (Regni vegetabilis conspectus), herausgegeben von A. Engler. 76. u. 77. Heft. *Compositae—Hieracium* (Fortsetzung), von K. H. Zahn. S. 289—576, mit 65 Einzelbildern in 18 Figuren, und S. 577—864, mit 63 Einzelbildern in 15 Figuren. Leipzig, Wihl. Engelmann, 1921. Preis M. 136,— bzw. M. 124,—. 78. Heft: *Borraginaceae — Borraginoideae — Cynoglosseae* von A. Brand. 1921, 183 S., mit 197 Einzelbildern in 22 Figuren. Preis M. 144,—. 79. Heft: *Compositae — Hieracium* von K. H. Zahn (Forts.), S. 865—1146, mit 114 Einzelbildern in 20 Figuren, 1922. Preis M. 244,—. 80. Heft: *Orchidaceae — Monandrae, Tribus Oncidiinae — Odontoglosseae Pars II.* von Fr. Kränzlin, 1922, 344 S., mit 232 Einzelbildern in 29 Figuren. Preis M. 288,—.

Wieder liegen fünf stattliche, in rascher Folge erschienene Hefte des großen Werkes vor, ein erfreuliches Zeichen dafür, daß trotz der Not der Zeiten dieses von dem Altmeister und rüstigen Vorkämpfer der systematischen Botanik und Pflanzengeographie begründete weitausschauende Unternehmen, dessen Wert und Bedeutung naturgemäß mit jedem neuen Heft wächst, in stetigem Fortschreiten begriffen ist. Drei von diesen neuen Heften enthalten die Fortsetzung der Zahnischen *Hieracium*-Monographie, die für sich allein schon eine riesige Arbeit darstellt und die bereits beim Erscheinen ihres ersten Teiles eingehender gewürdigt wurde (vgl. Jahrg. 1921, Heft 29 dieser Zeitschrift); unter Verweis hierauf genüge deshalb an dieser Stelle die Feststellung, daß die Gesamtzahl der beschriebenen Arten sich nunmehr auf 574 beläuft und daß damit neben der umfangreichen, 25 Sektionen enthaltenden Untergattung *Euhieracium* auch die beiden kleineren Untergattungen *Stenotheca* (vorwiegend amerikanisch) und *Mandonia* in fertiger Bearbeitung vorliegen. Liegen bei den Hieracien die besonderen Schwierigkeiten der systematischen Bearbeitung in der außerordentlich großen Zahl und dem Polymorphismus der Arten, so ergeben sie sich bei den *Borraginaceen*, von denen erstmals eine Unterabteilung in der Brandischen *Cynoglosseae*-Monographie zur Darstellung gelangt, vornehmlich aus der Frage nach der Abgrenzung und möglichst natürlichen Anordnung der Gattungen. Verf. hat hier den klaren und konsequenten Ausbau des Systems der Familie wesentlich gefördert, indem er einerseits gewisse Gattungen ausschloß, andererseits bestimmte Formenkreise als selbständige Gattungen abtrennte und endlich statt der Vergrößerung der Fruchtkelche, die bisher als Haupteinteilungsprinzip verwendet wurde, die Stellung des Griffels und die verschiedenartige Beschaffenheit des Fruchtknotens zur Blütezeit voranstellte, wodurch zugleich diejenigen Gattungen an die Spitze kommen, die das Bindeglied zu verwandten Unterfamilien darstellen. Was die geographische Verbreitung der Tribus angeht, so fehlen die *Cynoglosseae* in der arktischen und antarktischen Zone, außerdem im ganzen atlantischen Amerika östlich der Anden sowie in Westindien, kommen aber in sämtlichen Erdteilen vor. Das Hauptverbreitungsgebiet ist das Mediterrangebiet, wo, unter bedeutender Bevorzugung des östlichen Beckens, nahezu die Hälfte sämtlicher Arten vorkommt; verschwindend gering ist die Zahl der amerikanischen Vertreter, auch die Tropengebiete mit Ausnahme des tropischen Afrika, wo die Gattung *Trichodesma* mit der größten Zahl ihrer Arten sich findet, sind im ganzen nicht reich bedacht. Die große Gattung *Cynoglossum*, die der Gruppe den Namen gegeben hat, besitzt in sämtlichen Erdteilen Heimatsrecht; mehrere monotype Gattungen zeigen umgekehrt eine entsprechend enge Verbreitung, wobei *Myosotidium* als Endemismus der neuseeländischen Flora pflanzengeographisch von besonderem Interesse ist.

Die monographische Bearbeitung der *Orchidaceae* wird, wenn sie einmal abgeschlossen sein wird, wohl entsprechend dem ungeheuren, auf etwa 15 000 Arten zu schätzenden Artenreichtum dieser Familie, unter allen Monographien des „Pflanzenreiches“ bei weitem den größten Umfang besitzen. Vorläufig liegt allerdings erst das fünfte ihr gewidmete, wieder von Kränzlin bearbeitete Heft vor, das indessen eine für sich allein schon recht ansehnliche Gruppe enthält; zählt doch die Gattung *Oncidium* mehr als 330 Arten, wozu noch *Cystochilum* mit 115 Arten und einige verhältnismäßig kleine, ebenfalls ausschließlich der Flora des tropischen Amerika angehörige Genera hinzukommen. Die Schwierigkeiten sowohl der Gattungsumgrenzung wie



ihrer systematischen Gliederung und der Begrenzung des Artumfanges komplizieren sich bei derartigen Formkreisen naturgemäß in ganz besonderem Maße, und es kann daher nicht wundernehmen, wenn zwischen verschiedenen Spezialisten, die ja allein ein Urteil über diese Fragen haben, Meinungsverschiedenheiten über ihre zweckmäßigste und richtigste Lösung bestehen. Im vorliegenden Fall handelt es sich insbesondere um die vom Verf. vorgenommene Wiederherstellung der lange Zeit hindurch mit *Oncidium* vereinigt gewesenen Gattung *Cystochilum*, deren Berechtigung von anderer Seite bestritten worden ist und die daher den Verf. zu einer ausführlichen Begründung im allgemeinen Teil der Monographie nötigt. Im übrigen werden in diesem Teil noch besonders eingehend die Verhältnisse des Blütenbaues, die bemerkenswerteren Einzelzüge der geographischen Verbreitung und die Einteilung der Gattung *Oncidium* behandelt, bei welcher letzterer Verf. der von *Lindley* aufgestellten, bisher üblich gebliebenen nur teilweise folgt, in erheblichem Umfange sich aber auch um die Aufstellung neuer, möglichst natürlicher Gruppen bemüht hat. Auf die Einzelheiten der systematischen Bearbeitung kann hier selbstverständlich nicht näher eingegangen werden; soweit Referent zu sehen vermag, hat der Verf. sich mit großer Sorgfalt und Gründlichkeit der gestellten Aufgabe unterzogen. Die große Zahl von Textabbildungen bringt in der Hauptsache Einzelheiten des Blütenbaues zur Darstellung, was bei den schwierigen Verhältnissen, um die es sich dabei gerade bei den Orchideen vielfach handelt, als besonders erwünscht bezeichnet werden muß.

W. Wangerin, Danzig-Langfuhr.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Vom Hören der Insekten (Bienen).

Dank dem ganz außergewöhnlichen und überaus dankenswerten Entgegenkommen des Experimentalphysikers Prof. R. Pohl und des physikalischen Institutes Göttingen sowie des Zoologen Prof. A. Kühn und des Zoologischen Institutes Göttingen wurde es mir ermöglicht, schon längere Zeit geplante Versuche zu beginnen über das Hören der Insekten, insbesondere der Bienen.

Als ich mich mit Herrn Prof. Pohl beraten wollte über die Verwendung von singenden Gasflammen usw. zu Dressurzwecken, machte er mich alsbald aufmerksam auf die mittels sog. Glühkathodenröhren erzeugten, fast beliebig variierbaren, im übrigen aber sehr konstanten Töne. Es erwies sich auch als besonders vorteilhaft, daß man hier mit dem gleichen Strom zwei und mehr Tonquellen gleichzeitig erregen und mit den äußerst handlichen Tonquellen sehr bequem experimentieren konnte.

Bei meinen Versuchen über das Formensehen und Farbensehen bei Bienen und Wespen hatte ich Erfahrungen gewonnen über Vorteile und einige verfeinerte Anwendungen der sog. Kästchenmethode, eines tierpsychologischen Wahlverfahrens, durch das K. von Frisch mit so großem Erfolge die experimentelle Sinnesphysiologie der Insekten studiert hat. Durch eine Fütterungsdressur versuchte ich nun, eine Verknüpfung der Sinneseindrücke „Futterquelle“ und (Dressur-) „Ton“ herzustellen. Die Tatsache, daß sich solch eine Verknüpfung bildet, ist nachgewiesen, wenn die dressierten Bienen beim Erklingen des betreffenden Tones sich verhalten wie beim Vorhandensein der betreffenden Futterquelle, andererseits aber beim Fehlen des betreffenden Tones sich verhalten wie beim

Fehlen der betreffenden Futterquelle. Damit ist aber selbstverständlich auch bewiesen — weil etwas Tatsächliches eben auch immer etwas Mögliches ist —, daß die Verknüpfung auch möglich war, möglich deswegen, weil der Sinneseindruck (Dressur-) „Ton“ überhaupt perzipiert wird. Umgekehrt ist natürlich nicht alles, was an sich möglich ist, auch Tatsache. Es wäre z. B. an sich möglich, daß der Sinneseindruck (Dressur-) „Ton“ zwar perzipiert wird, eine Verknüpfung mit dem Sinneseindruck „Futterquelle“ jedoch nicht eintritt (mit Kühn etwa deswegen, weil die Blumen normalerweise wohl in Farben prangen und duften, jedoch nicht tönen), dann ließen sich die Bienen, obwohl sie hören, nicht nach unserem Verfahren dressieren und „ausfragen“: das Mißliche des negativen Versuchsausfalls.

Bei der Dressur diente als Futterquelle duftloses Zuckerwasser, dargeboten im Innern von zwei Dressurkästchen („+Kästchen“). Die zugleich damit gebotenen Dressurtöne („+Töne“) waren i. a. jene, welche im Bienenleben eine wichtige Rolle spielen. Sie ertönten in den Telephonkammern, die je verschiebbar hinter den zwei Dressurkästchen, jedoch in keinerlei fester Verbindung mit diesen Aufstellung fanden. Zwei Gegenkästchen („—Kästchen“), äußerlich genau so wie die andern, enthielten kein Futter, dafür den Gegenton („—Ton“), z. B.  $g_4$ ,  $d_3$ . Bei einer größeren Versuchsreihe war der Gegenton: „stumm“. Sogenannte Verwechslungsversuche wurden noch nicht ausgeführt. Jedoch wurden auch Versuche angestellt, um Assoziationen zwischen „Futterquelle“ und „Nichttönen“ herzustellen. Der „+Ton“ war in diesem Falle: stumm, der „—Ton“:  $d_3$ . Dies, um dem Vorwand zu begegnen, diese Tiere könnten eine mehr oder weniger angeborene Vorliebe haben für Töne, etwa wegen ihres Gemeinschaftslebens im summenden Bienenstock usw.

Bei den eigentlichen Versuchen wurden vier ganz neue duftlose Kästchen, unter sich und mit den Dressurkästchen übereinstimmend, verwendet. Keines wurde zur „Futterquelle“; jedoch wurde in zweien der Sinneseindruck (Dressur-) „Ton“ geboten, Telephonkammern besaßen alle, des gleichen Aussehens wegen.

Die Versuche zeigen alsbald, namentlich für den, der von Farbenversuchen herkommt und einige Erfahrung im Dressieren nach dem Kästchenverfahren besitzt, daß hier das Auftreten von Assoziationen bei weitem nicht so deutlich sich ankündigt, als etwa bei der Dressur auf einen bestimmten Geruch oder bestimmte Farbe oder bestimmten Ort.

Die meisten Versuche setzten sich aus 12 Zählperioden bei viertägigem planmäßigem Ortswechsel der Kästchen zusammen. Im ganzen wurden 5 Reihen von Versuchen angestellt, Reihe II und Reihe III (I) sollten entscheiden, ob die Bienen Töne besser perzipieren, wenn sie ihnen im Fußmarsch oder im Fluge sich nähern. Reihe V diente nebenbei auch dazu, um Anhaltspunkte darüber zu finden, ob Töne zwar perzipiert, aber nicht assoziiert werden. Der Ton  $d_3$  (1164) diente dabei als „Scheuch“-Ton. Es scheint danach, daß das Nichttönen genau so assoziiert wird wie das Tönen. Ferner, daß das Tönen sowohl mit lustbetonten als mit unlustbetonten Eindrücken assoziiert wird, was natürlich von Bedeutung ist für die tierpsychologische Leistungsfähigkeit der vorliegenden Dressurversuche. Reihe IV sollte zeigen, wie weit die Bienen die verschiedenen Töne unterscheiden, gerade sie ist noch am wenigsten ausgebaut (war stark durch Unwetter gestört). Im ganzen wurden in 17



Versuchen und 159 Zählperioden 2076 Reaktionen verarbeitet. Die Versuchskästchen wurden also nicht gleichmäßig besucht, sondern auf 862 (100) — Besuche kamen 1214 (140,8 %) — Besuche. Dies Überwiegen ist verhältnismäßig gering, erscheint aber immerhin deutlich und nicht zufällig. Denn die zwei Versuche, welche negativ ausfielen, fielen nur schwach negativ aus und waren zu deutlich durch äußere Umstände gestört. Bei mehr als einer Versuchsreihe läßt sich auch bei fortschreitender Dressur eine durchschnittlich fortschreitende Verbesserung des Erfolgs herauslesen.

Diese Methode erscheint also, zumal da noch andere Mittel zur Ausschaltung der Ortsassoziation angewandt werden sollen, nicht unbrauchbar, um hinter die vielumstrittenen Geheimnisse des Hörens bei höheren Insekten an der Hand von Versuchszahlen zu gelangen. Und es ist deswegen aufs dankbarste zu begrüßen, daß die eingangs erwähnten verdienten Forscher der Sache auch weiterhin ihre Unterstützung zukommen lassen wollen und daß Herr Dr. Kröning, Assistent am Göttinger Zoologischen Institut, der selbständig den Gedanken geäußert hat, man könnte elektrische „Summer“ zur Bienen-dressur verwenden, sich bei den Versuchen zu beteiligen bereit ist, um ihre breitere Fortsetzung (die nötig ist) zu ermöglichen.

Bisher nahm man, zumal in Züchterkreisen, an, daß der Hörsinn bei den Bienen, besonders bei der Verständigung der Stockinsassen und namentlich der Geschlechtstiere eine ganz überragende Rolle spielt. Für die Geschlechtstiere fehlen zwar noch Versuche (weil sie viel schwerer anzustellen sind), aber für die Arbeitsbienen ergibt sich aus Obigem, daß sie, der Reaktion nach zu schließen, die Töne überraschend schlecht assoziieren, also — dies also dürfte in Obigem mehrere Stützen finden — ein überraschend stumpfes „Gehör“ besitzen<sup>4)</sup>. Die Bienen sehen die Farben ähnlich gut wie der Mensch (von Frisch, Kühn und Pohl), sie riechen ähnlich gut wie der Mensch (von Frisch), sie hören aber nach Obigem viel schlechter als der Mensch.

Berlin-Dahlem, den 30. Mai 1922.\*

Ludwig Armbruster.

## Mitteilungen aus verschiedenen biologischen Gebieten.

**Über die Bildung einer Assoziation beim Regenwurm auf Grund von Dressurversuchen** (L. Heck, Lotos, Prag 67/68, 1919/20). Nach einer 1912 im amerikanischen „Journal of animal behaviour“ veröffentlichten Arbeit von R. M. Jerkes gelang es, einen Regenwurm durch Dressurversuche soweit zu bringen, daß er in einem einfachen Labyrinth einen durch eine Elektrode gesperrten Weg mied. Diese allmählich erworbene Gewohnheitshandlung wurde auch noch ausgeführt, als dem Tier die fünf ersten Segmente weggenommen wurden. Da es sich bei diesen Versuchen aber nur um ein einziges Individuum handelt, können die Resultate für theoretische Erörterungen kaum verwertet werden. Auf Veranlassung von A. Kühn (Göttingen) hat daher der

<sup>4)</sup> Bei den selten fliegenden Saltorien (Orthoptera) konnte ich selbst, und zwar bei den Männchen, schön beobachten, daß sie gut hörten. Über das Hören bei Bienen vgl. auch v. Buttel-Reepen 1908 („Reflexmaschinen“), 1915 („Leben und Wesen“), und Armbruster 1921, Arch. f. Bienenkunde II, S. 26 f., Märk. Bienenzeitung 1920, S. 131 u. 132.

Verfasser das Experiment in großem Maßstab und in exakter Weise an verschiedenen Regenwurmartens wiederholt.

Die Versuchsanordnung ist sehr einfach. Das Labyrinth besteht aus einer T-förmigen hölzernen Rinne, die oben mit abnehmbaren Glasplatten bedeckt ist. Durch die senkrechte Rinne, das Stammstück des T kriechen die Würmer ein. Bei Eintreffen am Querstück bieten sich zum Weiterkriechen zwei Möglichkeiten. Die Würmer können das Labyrinth nach links oder nach rechts durch das Querstück verlassen. Als Dressurreiz dient ein elektrischer Schlag, der die Würmer jedesmal dann trifft, wenn sie bei Dressur nach rechts z. B. eine bestimmte Stelle der linken Hälfte der Querrinne mit ihrem Vorderende erreichen.

Bei 500 Versuchen mit zehn verschiedenen Würmern ohne Einschalten des elektrischen Stromes verließen die Würmer die Rinne 259mal nach links, 241mal nach rechts. Daraus ergibt sich also, daß normalerweise keine Vorliebe für Links- oder Rechtswendung besteht.

Durch die eigentlichen Versuche werden drei Fragen entschieden: 1. Frage: „Ist der Regenwurm fähig, auf Grund bestimmter Erfahrungen eine Assoziation zu bilden?“ Speziell für die gegebene Versuchsanordnung lautet die Frage: Gewöhnt sich der Wurm daran, nachdem er beim Einbiegen in die falsche Rinne immer wieder einen elektrischen Schlag bekommt, den Stamm der T-Rinne nach einer Reihe von Versuchen sofort nach der richtigen Seite zu verlassen? Die Frage ist mit Ja zu beantworten. Der Verlauf der Versuche, aus denen dies hervorgeht, ist kurz folgender: Die Regenwürmer, die ja versteckt in der Erde leben, gewöhnen sich zunächst an die veränderte Umgebung, an das Kriechen in der Rinne usw. Dann nach etwa 80 Versuchen hat sich eine „lockere Assoziation“ gebildet. Die Würmer biegen zwar noch manchmal nach der falschen Richtung ein, aber nur unsicher tastend. Manchmal ziehen sie sich auch zurück und wählen den anderen Weg, ohne in die Nähe der Stelle gekommen zu sein, die den elektrischen Schlag auslöst. Endlich nach etwa 200 Versuchen ist eine „feste Assoziation“ entstanden. Die Würmer biegen immer oder fast immer sofort nach der richtigen Seite in die Querrinne ein. Daß hier nun wirklich die Assoziation: Wendung nach einer bestimmten Seite — elektrischer Schlag, vorliegt, beweisen Umdressierungsversuche. Zwei Würmer, die etwa nach 160 Versuchen bei Dressur nach rechts die feste Gewohnheit angenommen haben, die Rinne nach rechts zu verlassen, wenden sich nach Umschalten des elektrischen Stromes auf die rechte Seite, also bei Dressur nach links, nach etwa 65 weiteren Versuchen mit derselben Sicherheit nach links, wie vorher nach rechts.

Geänderte Außenbedingungen oder neu auftretende innere Einflüsse (Erkrankung) können die gebildete Assoziation leicht übertönen oder gar zum Verschwinden bringen. Bei Temperaturen unter 10° gelingen Dressuren überhaupt nicht.

2. Frage: Ist das Oberschlundganglion zur Ausübung der assoziativ erworbenen Gewohnheit nötig? In unserem Falle: Behalten die dressierten Würmer ihre erworbene Gewohnheit, die Rinne nach einer bestimmten Richtung zu verlassen, bei, auch wenn ihnen das Oberschlundganglion entfernt wird? Auch diese Frage ist mit Ja zu beantworten. Denn die Entfernung des Oberschlundganglions nach gelungener Dressur verhindert die Würmer nicht daran, ihrer erlernten Gewohnheit auch fernerhin treu zu bleiben.

3. Frage: Ist das Oberschlundganglion überhaupt

zur Bildung der Assoziation nötig? Also im vorliegenden Falle: Kann man einen Wurm, der kein Oberschlundganglion besitzt, in der obigen Weise dressieren? Auf die letztere Fassung dieser Frage lautet die Antwort: Ja! Das Oberschlundganglion ist also zur Bildung der Assoziation nicht nötig. Denn es gelingt sowohl Würmer zu dressieren, denen das Oberschlundganglion entfernt wird, wie solche, denen mehrere vordere ganze Segmente weggenommen werden.

Aus der Beantwortung der beiden letzten Fragen geht also hervor, daß die Ganglienkette des Bauchmarks eine wichtige Rolle spielt sowohl bei der Assoziationsbildung wie bei der Vollführung einer assoziativ erworbenen Gewohnheit.

Andreas Penners, Würzburg.

**Über die flächenhafte Verbreitung der Pigmente in der Haut bei Menschen und Affen.** (K. Toldt jun., Bd. 61 der Mitteilungen der Anthropologischen Gesellschaft in Wien, 1921.) Toldt unterscheidet in der Haut das Epidermispigment und das Kutispigment. Ersteres ist der in den Epithelzellen liegende Farbstoff, wie er in der Haut der farbigen Rassen, vornehmlich der Neger, zur Erscheinung kommt, letzteres die großen verzweigten dunklen pigmentkörnchenhaltenden Zellen in der Kutis, die von der menschlichen Haut her als die Elemente der Mongolen- oder Neugeborenenflecke am Kreuz und Gesäß neugeborener Kinder bekannt sind. Toldts Untersuchungen beziehen sich auf eine große Anzahl von Affenfellen, die vom Bauchbrustschnitt aus im ganzen abgezogen und frisch oder besser in getrocknetem Zustande von innen betrachtet wurden. Die Haarfarbe und die Pigmentierung durch die Haarwurzeln wurde weniger bei diesen Untersuchungen in Betracht gezogen. Auch sie bildet erkennbare Zeichnungen auf der Innenseite der Haut, die aber bei Tieren, die mausern können, wechseln, je nachdem die Haare im Wachstum begriffen sind und stark pigmentierte Wurzeln haben, oder ausgewachsen und dann mit ziemlich pigmentlosen Wurzeln versehen sind, je nachdem das Stadium der Mauserung oder des Haarstillstandes angetroffen wurde. Über letztere Zustände bringt Toldt von Hauskaninchen und Feldmäusen sehr hübsche, belehrende Bilder bei. Bei Affen fehlen die Mauserungsunterschiede, vermutlich mausern diese nicht in erkennbarer Weise. Von Affen standen Toldt 46 Felle zur Verfügung. Die Epidermispigmentierung der Affenhaut erscheint grau am frischen Fell, schwärzlich am getrockneten. Die Kutispigmentierung ist bläulich in frischem Zustande und dunkler schwarz nach der Trocknung. Die Grenzen der Epidermispigmentierung sind weniger scharf als die der Kutispigmentierung. Eine bestimmte Beziehung zwischen Farbe des Haarkleides und Epidermispigmentierung besteht weder bei Affen noch bei anderen Säugetieren. An dicht und dunkel behaarten Stellen kann die Haut hell oder dunkel sein, und ebenso bei schütterer heller Behaarung. Bei dunkler schütterer Behaarung wurde bisher nur dunkle Haut gefunden. Die Dunkelheit der Epidermiszeichnung wechselt bei derselben Art individuell. Im allgemeinen ist der Bauch dunkler als der Rücken im Gegensatz zu den Angaben von Adachi, der aber Epidermis- und Kutispigment nicht voneinander unterscheidet. Aber beim Orang und beim Menschen ist der Rücken im allgemeinen dunkler. An den Gliedmaßen ließen sich regelmäßige allgemeine Verhältnisse nicht feststellen. Die Verteilung der Epidermispigmente ist bei den verschiedenen Affenarten verschieden, aber bei jeder Art konstant, nur

unterschieden nach Ausdehnung und Intensität. Die Kutis- (Korium-) Zeichnung besteht aus dem mehr oder weniger dichten Netzwerk der großen tiefliegenden Pigmentzellen. Während die Epidermiszeichnung manchmal die ganze Haut umfaßt (Orang, Mensch), ist dies bei der Koriumzeichnung nie der Fall. Sie ist beim Orang auch weitausgedehnt, ebenso beim Hamadryas; hier ist sie stellenweise (Bauch) dunkler, und mit dunkleren Flecken an den Armen versehen. Bei diesem 1. Typus sind Kopf und Innenseite des Gliedmaßenansatzes licht. 2. Typus: Pigmentierung des Rückens. Übergang von 1 zu 2 Theropithecus obscurus mit teilweiser Pigmentierung der Bauchhaut. Die Rückenpigmentierung zieht sich bis auf einen medianen Rückenstreifen zurück (Mandrill). Typus 3 ist Pigmentierung der Bauchhaut, Übergang von 1 zu 3 stellt Cercopithecus dar, ein Negativ zur Zeichnung des Mandrill. Zum Schluß (bei Cercopithecus aethiops) ist Kopf und Rücken licht, Bauch und Glieder dunkel. Typus 4 ist Pigmentierung der Flanken, bei dem Bauch und Rückenmitte licht ist. Das Gegenstück, Typus 5, ist der Magot mit dunklem Bauch und dunklem Rückenmittelfleisch. Bei diesem Tier, von dem 10 Häute vorhanden waren, ist eine große Variabilität in der Stärke der Färbung zu finden. Bei ihm tritt, wie beim Orang, ein heller Streifen jederseits von der Bauchmittellinie auf und geht in lichte Streifen an der Innenseite der Beine über (Typus 6). Beim Orang, Typus 7, fehlen die Streifen beiderseits der Rückenmittellinie. Typus 8, Cercopithecus variegatus, hat nur dunklen Rückenstreifen, zwei dunkle Seitenstreifen, während der Rest des Rückens und der Bauch hell sind. Typus 9 ist am Rumpf ganz frei von Koriumpigment, die Extremitäten enthalten welches. Das Koriumpigment des Menschen (Mongolenflecke) sitzt am Rücken, besonders in seinen hinteren Partien. Aus ihm ließe sich wohl der ursprüngliche Zeichnungstypus des Menschen rekonstruieren und in einen der Typen einordnen. Eine ähnlich geringe und gleichlokalisierte Anordnung hat das Koriumpigment des fetalen Schimpansen. Die Halbaffen und die übrigen Säugetiere scheinen keine Koriumpigmentzeichnung zu besitzen, es wäre diese demnach auf die Affen beschränkt und kommt sowohl bei neu- wie bei altweltlichen Affen vor. Korium- und Epidermiszeichnung haben zuweilen dieselben Grenzen, meistens aber nicht. Betrachtet man beide Pigmentarten nebeneinander, so gibt es Affen mit folgenden Pigmentierungskombinationen:

1. solche mit allgemeinverbreitetem Epidermispigment oder mit stellenweisem Epidermispigment, aber fast ohne alles Koriumpigment;
2. solche fast ohne Epidermispigment, aber mit Koriumzeichnung;
3. solche mit völliger oder teilweiser Epidermispigmentierung und mit Koriumzeichnung.

Der erwachsene Mensch gehört in die erste, der neugeborene mit Geburtsflecken in die dritte Gruppe.

Die dritte Hautzeichnung, welche durch die Haare bedingt ist, kann weit schwerer nur systematisch bearbeitet werden, weil diese Färbung nach Haarwachstum und Alter des Tieres individuell wechselt.

Die Zeichnung der Affen, und zwar alle drei Arten von Hautfärbung, Epidermis-, Korium- und Haarfarbe, verläuft im allgemeinen in der Längsrichtung des Körpers und der Gliedmaßen. Dies ist für den Vergleich mit pathologischen Pigmentierungen des Menschen (Naevuspigmentierung) von Wichtigkeit.

P.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von

ARNOLD BERLINER

Unter besonderer Mitwirkung von H. BRAUS in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.  
Copyright 1922 by Julius Springer in Berlin.

LIBRARY

RECEIVED

SEP 12 1922

U. S. Department of Agriculture

Heft 28. (Seite 605—620)

14. Juli 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Serologie und Psychiatrie. Von *F. Plaut, München*.  
S. 603.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Ergänzende Bemerkung zu meiner Arbeit: Röntgenspektren und chemische Valenz. Von *Gregor Wentzel, München*. S. 614.

Deutsche Meteorologische Gesellschaft (Berliner Zweigverein):

Beiträge zur Aufsuchung kosmischer Grundlagen

von Klimaperioden. Aerologische Flugzeugaufstiege in Adlershof. S. 614.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten. S. 615-618.  
Ein Autostroboskop und ein Glühfadenfarbencykel. Wüstenausdehnung, Dürren und Abwehrmaßnahmen. Verbindungsgewicht des Bors. Frage nach der Stabilität der Atomkerne. Das Fließen des Metalles beim Warmpressen und Hämmern. Silumin. Dampfwagen.

Astronomische Mitteilungen. S. 619—620.

Jahresbericht der Mount-Wilson-Sternwarte.

# GOERZ

## TRIÄDER BINOCLE



für

Reise, Sport, Jagd.

Zu beziehen durch die optischen  
Geschäfte.

Man verlange reich illustrierten  
Katalog.

Optische Anstalt C. P. Goerz Aktien - Gesellschaft, Berlin - Friedenau 45

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 100,— für das dritte Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 9.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 9.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 2020 Julius Springer.  
Konten: für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

### Otto Vahlbruch Stiftung!

Der am 28. März 1896 in Hamburg verstorbene Herr Otto Vahlbruch hat in § 11 seines Testaments bestimmt, daß alle 2 Jahre dem Verfasser derjenigen in deutscher Sprache geschriebenen und veröffentlichten Arbeit, die in dem gleichen Zeitraum den größten Fortschritt in den Naturwissenschaften gebracht hat, ein Preis zuerkannt werden möge, welcher aus den Einkünften des von ihm hinterlassenen Vermögens entnommen werden soll.

Dem Wunsche des Stifters gemäß hat die philosophische Fakultät der Universität Göttingen das Ehrenamt übernommen, als ausschlaggebende Jury für die Zuerkennung des Preises zu fungieren.

Zum 13. Male ist nun in diesem Jahre in sinngemäßer Auslegung des Testaments der Preis verliehen worden, und zwar im Betrage von M. 7000 (Siebentausend Mark) an Herrn Professor Dr. Hans Spemann — Professor an der Universität Freiburg i. Br. — „wegen seiner grundlegenden Arbeiten über die Determination der Organanlagen bei Amphibienembryonen“.

**Die Verwaltung  
der Otto Vahlbruch Stiftung.**

### Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

**J. D. Möller, Wedel in Holstein.**  
Gegründet 1864. (250)

#### Neu!

#### Aktuell!

**Das Weltgebäude.** Eine voraussetzungslose Erkenntnistheorie. Preis M. 20.—

**Kritische Betrachtungen zur Kant-Laplacephen Hypothese.** Preis M. 10.—  
Zusammen M. 25.— franco. (292)

„Die Naturwissenschaften“ erwähnen.

Verlag: **Dr. Lingenberg, Bad Kissingen.**  
Postcheck-Konto: Nürnberg 28 137.

### Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

**zu kaufen gesucht.** Angebote unter  
Nw. 236 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

## Ausschreiben

### zur Bewerbung um ein Stipendium der Mochizuki-Stiftung bei der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften.

Auf Grund des Beschlusses des Verwaltungsausschusses der Mochizuki-Stiftung vom 27. Mai d. J. wird gemäß §§ 2 und 3 der Stiftungsurkunde je ein Stipendium für Forschungsarbeit in dem Fache der Physik und der Biologie im weitesten Sinne in Höhe von mindestens 30 000 M. jährlich auf 2 Jahre ausgeschrieben.

Die Bewerbung unterliegt folgenden Bedingungen:

1. der Bewerber muß promoviert haben;
2. der Bewerber muß den Nachweis erbringen, daß er Neigung und Talent zur Forschung hat. Einreichung eines möglichst vollständigen Berichts über die bisherige Laufbahn und Tätigkeit, evt. Publikationen, Zeugnisse;
3. der Bewerber darf keine besoldete Stelle innehaben;
4. der Bewerber darf nicht bereits im Genuß eines ähnlichen Stipendiums sein.

Gemäß § 9 der Stiftungsurkunde kann die Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft verlangen, daß der Stipendiat seine Forschungsarbeiten in einem der Kaiser-Wilhelm-Institute ausführt.

Bewerbungen, die auch Angaben über die Arbeitspläne enthalten sollten, sind bis spätestens 1. Oktober 1922 zu richten an den Präsidenten der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft.

Seine Exzellenz Professor D. Dr. v. Harnack

Berlin C 2, Schloß, Portal 2.



# DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zehnter Jahrgang.

14. Juli 1922.

Heft 28.

## Serologie und Psychiatrie<sup>1)</sup>.

Von F. Plaut, München.

Als Kraepelin vor wenigen Jahren einen Überblick über die Entwicklung der Psychiatrie in den letzten 100 Jahren gab, waren selbst wir Fachleute wieder von neuem überrascht, zu hören, wie jung die Psychiatrie als Naturwissenschaft eigentlich ist. Bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts herrschten in der Betrachtungsweise der Geisteskrankheiten geradezu mittelalterliche Vorstellungen. Theologische und philosophische Erörterungen überboten sich in Spitzfindigkeiten über die Ursachen und das Wesen der Geisteskrankheiten. „Ein böser Geist“, so lehrte Heinroth, einer der führenden Irrenärzte jener Zeit, „wohnt in der Seele der Geisteskranken. Durch Hang zur Sünde wird die Seele gestört; das Irresein ist der Ausfluß der persönlichen Schuld, der freiwilligen Hingabe an die Sünde.“ In Deutschland war es das Verdienst Griesingers, der medizinischen Denkweise den Sieg über die moralisierende erfochten und die Anschauung zum Gemeingut der Ärzte gemacht zu haben, daß Geisteskrankheiten Gehirnkrankheiten sind. Nachdem sich so — spät genug — die naturwissenschaftliche Einstellung in der Psychiatrie durchgesetzt hatte, suchte diese die Hilfsmittel der medizinischen Methodik sich zu eigen zu machen, die auf anderen Gebieten der Heilkunde zum Teil schon längere Zeit hindurch in Gebrauch waren. An Stelle des Schuldproblems trat die nüchterne klinische Ursachenforschung, die Laboratoriumsarbeit begann. Kliniker, Anatom, Experimentalpsychologe, Vererbungsforscher, Chemiker und Serologe haben in den letzten Jahrzehnten versucht, gemeinsam in mühsamer Kleinarbeit den Ausbau der Psychiatrie auf naturwissenschaftlichem Fundament zu fördern.

Die *Serologie* befaßt sich mit der Untersuchung der Körperflüssigkeiten und forscht insbesondere nach Veränderungen, die die Körperflüssigkeiten unter dem Einfluß von Infektionskrankheiten erfahren. Die Bezeichnung *Serologie* leitet sich von dem Wort Serum her, womit man den flüssigen Bestandteil des Blutes bezeichnet; der Begriff wird aber weiter gefaßt, da auch die Erforschung anderer Körperflüssigkeiten in ihren Bereich fällt, vor allem die Untersuchung der Rückenmarksflüssigkeit.

Erst von dem Augenblick an, als es eine *Sero-*

*diagnostik der Syphilis* gab, gab es auch eine *Serodiagnostik* in der Psychiatrie. Im Jahre 1906, dem Geburtsjahr der Wassermannschen Reaktion, wurde die erste Brücke zwischen Serologie und Psychiatrie geschlagen, und so ist die Serologie unter den Hilfswissenschaften der Psychiatrie die jüngste.

Was der Wassermannschen Reaktion von vornherein ihre große Bedeutung sicherte, war der Umstand, daß die Syphilis neben der Tuberkulose die verbreitetste und verheerendste Seuche darstellt. Vorbedingung für die Bekämpfung einer Volksseuche ist, daß man sie erkennen kann. Dies ist nun bei der Syphilis vielfach durch die klinische Untersuchung allein nicht möglich. Besonders bei Frauen kann die Infektion im Körper Eingang finden, ohne daß die Kranken dessen gewahr werden. Häufig treten erst nach Jahren erkennbare Erscheinungen der Infektion zutage, wenn es für eine wirksame Behandlung der Erkrankung oft schon zu spät ist. In der Vorwassermannzeit war dies nach den Erfahrungen der Neißerschen Klinik in Breslau bei Männern bei über  $\frac{1}{4}$ , bei Frauen sogar bei weit über der Hälfte der Kranken der Fall. Die Syphilisdiagnostik hat mit einem Schlage uns die Möglichkeit in die Hand gegeben, zahllose scheinbar Gesunde als Syphilitiker festzustellen, scheinbar Geheilte als noch syphilitisch zu erkennen und bei Verdächtigen die Syphilisdiagnose zu sichern oder abzulehnen. Erst jetzt wurde es möglich, die Frage zu prüfen, in welchem Umfang unser Volkskörper von der Syphilis durchseucht ist. Leider haben sich einer zureichenden statistischen Erhebung der Verbreitung der Syphilis mit Hilfe der Wassermannschen Reaktion bisher große Schwierigkeiten in den Weg gestellt. Zur Verfügung für solche Untersuchungen steht nämlich nur das Krankenmaterial von Krankenhäusern, das natürlich eine Auslese darstellt. Erhebungen an einem derartigen Krankenmaterial geben uns kein zuverlässiges Bild von der Häufigkeit der Syphilis bei der freilebenden Bevölkerung. Brauchbare Werte wären etwa zu gewinnen durch Durchuntersuchung von Arbeitern und Arbeiterinnen großer Fabriken, von Bahn- und Postbeamten oder Angehörigen ähnlicher Betriebe. Etwas Derartiges ließ sich bisher nicht durchführen. Während des Weltkrieges hat Kraepelin die Anregung gegeben, bei Teilen des Feldheeres die Blutuntersuchung nach Wassermann vorzunehmen. Das Ergebnis wäre um so wichtiger gewesen, als es uns die Häufigkeit der Syphilis gerade bei den zeugungsfähigen Männern vor Augen geführt haben

<sup>1)</sup> Vortrag (gekürzt) bei der Jahressitzung der Deutschen Forschungsanstalt für Psychiatrie in München am 8. Mai 1922.

würde. Leider fand dieser Plan keine Verwirklichung.

Bisherige Schätzungen, die teils durch Erhebungen bei den Ärzten, durch Studium der Akten von Versicherungsgesellschaften, durch Untersuchungen von Leichenmaterial und auf andere Weise gewonnen wurden, führten zu der Annahme, daß etwa 10 % der Gesamtbevölkerung an Syphilis erkrankt sei.

Mit Hilfe der Wassermannschen Reaktion wurde an der Münchner Frauenklinik durch Dr. Saenger eine Durchuntersuchung von 2000 schwangeren Frauen vorgenommen, d. h. es wurden wahllos alle während einer bestimmten Zeit zur Aufnahme gelangten schwangeren Frauen untersucht. Es ergab sich in 8,6 % positive Wassermannsche Reaktion. Da die Wassermannsche Reaktion nur die Kranken anzeigt, die noch syphilitisch sind und selbst diese nicht einmal restlos, aber nicht diejenigen herauszufinden gestattet, die früher einmal syphilitisch waren, ist der gefundene Prozentsatz als Mindestzahl anzusehen, und die Annahme, daß 10 % der Münchener Frauen syphilitisch sind, eher zu niedrig gegriffen. Die Feststellung der Frauenklinik hat deshalb so große Bedeutung, weil es sich ja hier nicht um Kranke, sondern im wesentlichen um gesunde Frauen handelt. An der Klinik von Prof. v. Romberg in München, also bei dem Material einer medizinischen Klinik, erhielt Dr. Hubert ähnliche Ziffern. Von den Frauen erwiesen sich 10,9 %, von den Männern 9,8 % als infiziert.

Besonders ernst erscheint die Gefahr, welche die Syphilis für die Volksgesundheit bedeutet, wenn wir uns die Tatsache vor Augen führen, daß die Syphilis der Eltern auf die Kinder übergehen kann. In welchem Umfang die Syphilis in den Familien verbreitet ist, trat erst durch die planmäßige Untersuchung von Frauen und Kindern mittels der Wassermannschen Reaktion zutage. Man hatte früher von der Häufigkeit der kongenitalen Syphilis eine ganz unzureichende Vorstellung, da bei der angeborenen Syphilis noch häufiger als bei der erworbenen die Infektion sich zunächst wegen der geringfügigen oder auch wohl gänzlich fehlenden Erscheinungen der Beobachtung entzieht. Viele syphilitische Kinder erscheinen längere Zeit hindurch gesund, bis oft erst nach 10 oder mehr Jahren untrügliche Zeichen der Syphilis zutage treten und schwere, nicht mehr heilbare Störungen sich einstellen können. Noch jetzt wird die serologische Familienforschung nur hin und wieder und an wenigen Stellen so durchgeführt, wie es nötig wäre, um die familiäre Syphilis aufzudecken. So wird bei schwangeren Frauen meist nur dann die Wassermannsche Reaktion angestellt, wenn bei ihnen syphilitische Erscheinungen bestehen oder ein Verdacht vorliegt. Da bei einer großen Zahl von syphilitischen Frauen die Syphilis latent ist, und die Frauen sich in

Unkenntnis ihrer Infektion befinden, unterbleibt ihre Untersuchung in der Regel, und ebenso geschieht das bei den Kindern, die solche Mütter zur Welt bringen. Es wäre schon ein Fortschritt, wenn man versuchen würde, bei den Familienmitgliedern jedes sicheren syphilitischen Falles die Wassermannsche Reaktion auszuführen, also bei den Ehegatten und Kindern syphilitischer Männer und Frauen und bei den Eltern und Geschwistern eines syphilitischen Kindes. Dieser Forderung wird man nur in wenigen Krankenhäusern gerecht. Eine große Schwierigkeit für durchgreifende Maßnahmen dieser Art ist der diskrete Charakter des Leidens, der Umstand, daß die Syphilis in der Volksauffassung als ein Makel gilt. Sehr häufig läßt sich ein syphilitischer Vater gar nicht darauf ein, daß seine Frau und seine Kinder untersucht werden, und verhindert so die notwendigen ärztlichen Handlungen, nur um seiner vermeintlichen Würde nichts zu vergeben. Bei den an unserer Forschungsanstalt vorgenommenen Familienuntersuchungen hat sich gezeigt, daß kaum bei einem der mit Wassermannscher Reaktion behafteten Kinder unserer syphilitischen Kranken, und es waren nicht wenige Kinder darunter, die schon der Schule entwachsen waren, vorher an Erbsyphilis gedacht, geschweige denn eine Behandlung vorgenommen worden war.

Kaum auf einem Gebiet der Medizin ist die Einführung der Serodiagnostik der Syphilis so wichtig geworden, als für die Psychiatrie. Dies erhellt schon aus der Betrachtung der Häufigkeit, in der sich bei den Aufnahmen in einer psychiatrischen Klinik Syphilis vorfindet. In ähnlicher Weise wie in der hiesigen Frauenklinik und an der I. medizinischen Klinik haben wir fortlaufend bei den unserer Klinik zugegangenen Kranken ohne Berücksichtigung, ob Syphilisverdacht bestand oder nicht, die Blutuntersuchung vorgenommen. Es ergab sich, daß von den Männern 21,6 % eindeutig positive, dazu noch weitere 2,3 % zweifelhaft positive Wassermannsche Reaktion darboten, d. h. daß unter 5 männlichen Kranken, die bei uns aufgenommen werden, sich mindestens ein Syphilitiker befindet. Bei den Frauen fanden wir 13,6 % positive, dazu noch 2,6 % zweifelhaft positive Wassermannsche Reaktion, zusammen also 16,5 %, d. h. etwa jede siebente Frau ist bei uns syphilitisch. In Wirklichkeit entspricht dem tatsächlichen Verhalten ein noch höherer Prozentsatz, da durch die Wassermannsche Reaktion nur die Syphilitiker erfaßt werden, die sich noch in einem Wassermann-positiven Stadium befinden.

Die Serodiagnostik der Syphilis fand also in der Psychiatrie ein ganz besonders reiches Betätigungsfeld. Vor ihrer Einführung war man gewiß schon geneigt, der Syphilis eine wichtige Rolle für die Entstehung von Geisteskrankheiten zuzumessen. Aber gerade für die bedeutsamste syphilitische Geisteskrankheit, die *Paralyse*, im



Volksmund Gehirnerweichung genannt, fehlte der sichere Beweis ihres syphilitischen Charakters. Die meisten Forscher vertraten den Standpunkt, nur ein Teil der Paralytiker wäre syphilitisch, andere Ursachen könnten ebensowohl die Krankheit verursachen. Die Wassermannsche Reaktion schaffte hier klare Verhältnisse. Fast ausnahmslos zeigte das Blut der Paralytiker positive Wassermannsche Reaktion, auch bei Fällen, wo die Infektion in Abrede gestellt wurde. Nunmehr konnte mit Bestimmtheit der Satz aufgestellt werden: *Ohne Syphilis keine Paralyse*. Noch einen Schritt weiter führten diese Befunde. Man hatte vielfach angenommen, daß, wenn auch die Syphilis einen Einfluß auf die Entwicklung der Paralyse habe, so sei dieser doch kein direkter. Die Syphilis bereite nur den Boden vor, auf dem der paralytische Krankheitsprozeß später sich entwickle. Die Wassermannbefunde im Blut erlaubten nun nicht nur den Schluß, daß alle Paralytiker einmal Syphilis durchgemacht haben, sondern daß sie noch an Syphilis leiden. Denn die Wassermannsche Reaktion ist ein Zeichen aktiver Syphilis. Sie tritt nur ein, wenn der Erreger der Syphilis, die *Spirochaete pallida*, noch im Körper wirksam ist.

Man konnte daher auf Grund der serodiagnostischen Erhebungen annehmen, daß die Paralytiker noch *Spirochaetenträger* seien. Aber auf die Frage, an welcher Körperstelle sich die *Spirochaeten* bei den Paralytikern aufhalten, gab die Blutreaktion keine Antwort. Man konnte also aus dem Vorkommen der Wassermannschen Reaktion im Blut nicht etwa schließen, die *Spirochaeten* sitzen im Gehirn der Paralytiker. Durch Untersuchung einer anderen Körperflüssigkeit gelang es bald, der Lösung dieser wichtigen Frage einen Schritt näher zu kommen, nämlich durch die *Untersuchung des Liquor cerebrospinalis*, der sogen. Nerven- oder Rückenmarksflüssigkeit. Unter allen Organen nimmt das Zentralnervensystem dadurch eine Sonderstellung ein, daß es von einer wasserklaren Flüssigkeit umgeben ist. Es hängt schwimmend in dieser Flüssigkeit, und auch die Höhlen des Gehirns und des Rückenmarks sind von dieser Flüssigkeit, dem *Liquor cerebrospinalis*, erfüllt. Erkrankt nun das Gehirn oder Rückenmark, so können krankhafte Stoffe in die umgehende Flüssigkeit ausgeschieden werden und wir können aus ihrem Nachweis im Liquor die Erkrankung des Gehirns oder des Rückenmarks erschließen. Glücklicherweise ist nun die Liquorentnahme, die natürlich die Vorbedingung für die Untersuchung dieser Körperflüssigkeit ist, ein leichter und im allgemeinen ganz unschädlicher Eingriff. *Quincke* hat am unteren Teile der Wirbelsäule in der Lendengegend Stellen aufgefunden, die sich unterhalb des Endes des Rückenmarks befinden, wo jedoch gleichwohl noch Rückenmarksflüssigkeit gewonnen werden kann. Beim Einstich an einer solchen Stelle mittels einer sterilen

dünnen Hohlneedle, man nennt diesen Eingriff *Lumbalpunktion*, ist nach Lage der anatomischen Verhältnisse eine Verletzung des Rückenmarks ausgeschlossen und die Entnahme des Liquors ein ganz einfacher Vorgang.

Die Untersuchung des Liquors mittels der Wassermannschen Reaktion brachte nun das wichtige Ergebnis, daß der *Liquor bei der Paralyse positive Wassermannsche Reaktion zeigte* (*Wassermann und Plaut*). Vergleichende Untersuchungen zwischen Liquor von nervengesunden und nervenkranken Syphilitikern ließen erkennen, daß nur bei syphilitischen Erkrankungen des Nervensystems die Wassermannkörper im Liquor auftraten. Hat ein Syphilitiker ein intaktes Nervensystem, so kann sein Blut noch so reich an Wassermannkörpern sein, im Liquor ist nicht eine Spur von ihnen vorhanden. Die Wassermannsche Reaktion im Liquor ist also unabhängig von der Wassermannschen Reaktion im Blut, und ihr positives Verhalten im Liquor erlaubt den Schluß, daß das Nervensystem syphilitisch erkrankt ist. Gerade bei der Paralyse ist der positive Ausschlag im Liquor besonders hochgradig, und vielfach kann schon aus der Intensität, mit der die Reaktion hier auftritt, eine Paralyse angenommen werden. Es unterliegt keinem Zweifel, daß die Wassermannkörper des Liquor dem erkrankten Nervensystem entstammen, und aus der Ausscheidung der Wassermannkörper durch das Nervensystem konnte gefolgert werden, daß im Nervensystem die Erreger der Syphilis tätig sind. Das Schlußglied in der Kette der Beweise dafür, daß der Paralyse eine syphilitische Infektion des Gehirns zugrunde liegt, wurde durch den japanischen Forscher *Noguchi* beigebracht. *Noguchi* gelang nämlich der *Nachweis des Erregers der Syphilis, der Spirochaete pallida, in der Hirnrinde der Paralytiker*. Das Verdienst *Jahnel's*, eines deutschen Forschers, ist es, die Methodik für den *Spirochaetennachweis* im Gehirn so verbessert zu haben, daß man jetzt unschwer die *Spirochaeten* im Gehirn auffinden und ihre Beziehungen zu den Gewebsbestandteilen des Gehirns studieren kann.

Die Paralyse ist jedoch nur eine Form der durch die *Spirochaete pallida* hervorgerufenen Erkrankungen des Nervensystems. Auch die *Tabes dorsalis*, die sogen. Rückenmarksschwindsucht, ist ein Produkt der *Spirochaetenwirkung*, und auch hier ist nunmehr der Nachweis der *Spirochaeten* gelungen, nachdem zuvor bereits die Wassermannsche Reaktion auch den Zusammenhang dieser Krankheit mit der Syphilis erwiesen hatte. Die *Tabes* hat jedoch mehr neurologisches Interesse, da sie ja wenigstens in ihren reinen Formen sich auf das Rückenmark beschränkt und keine Geistesstörung verursacht. Aber es gibt auch *syphilitische Geisteskrankheiten*, die in ihren Symptomen, ihrem Verlauf und ihrer Prognose mit der Paralyse nichts zu tun haben und gleichwohl durch die *Spirochaeten* erzeugt wer-

den. Diese Form bezeichnet man als echte *Hirnsyphilis*. Sie kann sich schon im Frühstadium der Syphilis entwickeln, man kann ihr mit den antisypilitischen Heilmitteln im allgemeinen beikommen, und ihre syphilitische Natur war schon lange sichergestellt, bevor man den Erreger der Syphilis gefunden hatte. Im Gegensatz zu der Hirnsyphilis lag über der Paralyse immer eine eigentümliche Mystik. Wie ich bereits erwähnte, hat man, bevor die Wassermannbefunde bei der Paralyse erhoben und die Spirochaeten bei ihr nachgewiesen waren, sie nur in eine entfernte Beziehung zur Syphilis gebracht. Und auch jetzt noch ist sie eine rätselvolle Erkrankung.

Die Paralyse hat im besonderen Grade stets das Interesse auch der nichtärztlichen Kreise auf sich gezogen. Als Schreckgespenst erhebt sie sich vor dem Menschen, die Syphilis erworben haben. Wenn auch nur etwa 5 % der Syphilitiker dieser unheimlichen Krankheit verfallen, so ist angesichts der zahlreichen, mit Syphilis behafteten Menschen die absolute Zahl der Erkrankungen eine sehr erhebliche. So leiden von den männlichen Kranken unserer Klinik durchschnittlich etwa 15 % an Paralyse, und infolge der großen Sterblichkeit der von ihr befallenen Kranken trifft in den großstädtischen Irrenanstalten die Hälfte und wohl auch mehr sämtlicher Todesfälle auf Paralyse. Die echte Hirnsyphilis tritt an Zahl weit dahinter zurück.

Die meisten Geisteskrankheiten sind ein ererbtes Übel, und nicht selten sind ihre Träger schon von Hause aus mehr oder weniger Minderwertige oder sonst Auffällige. Da ist man eher geneigt, die ausbrechende Psychose als ein Übel hinzunehmen, dem man nicht entgehen kann, weil es eben in der Anlage wurzelt. Ganz anders bei der Paralyse. Von ihr werden auch hochwertige, erblich in keiner Weise belastete Menschen aus gesunden Familien auf der Höhe des Lebens, meist in den 40er Jahren, unverhofft ergriffen und innerhalb weniger Jahre zugrunde gerichtet. Die Tragik dieser Krankheit wird dadurch erhöht, daß sie meist erst viele Jahre nach der syphilitischen Infektion beginnt, wenn die Kranken sich schon lange geborgen fühlen, und daß sie gerade bei solchen Syphilitikern zum Ausbruch kommt, die eine scheinbar besonders milde Syphilis durchgemacht haben. Die Frühsyphilis pflegt bei diesen Kranken unter so geringen Erscheinungen zu verlaufen, daß sie geradezu in Sicherheit gewiegt werden und es deshalb verabsäumen, sich ausreichend behandeln zu lassen. Es ist der ärztlichen Erkenntnis noch völlig verschlossen, wodurch bei der Syphilis diese Auslese zustande kommt, warum sie bei einer Gruppe von Syphilitikern so späte und so furchtbare Wirkungen ausübt.

Diese Auslese erstreckt sich nun nicht nur auf die Syphilitiker einer Volksgemeinschaft, sondern die medizinische Geographie lehrt, daß gewisse Völker sehr stark von der Paralyse heim-

gesucht werden, andere von ihr nahezu völlig verschont bleiben. Man könnte meinen, dies hänge von der verschiedenen Häufigkeit der Syphilis in den verschiedenen Ländern ab, das ist aber keineswegs der Fall. So ist in manchen subtropischen und tropischen Ländern, z. B. auf Java, wie *Kraepelin*, und in Algier, wie *Rudin* feststellte, die Syphilis bei den Einheimischen überaus häufig, während die Paralyse fast gar nicht vorkommt. Es wäre daran zu denken, das Klima habe einen Einfluß. Aber auch das ist wohl kaum der Fall, da die Europäer, die in paralysefreien Gegenden leben, in der üblichen Häufigkeit an Paralyse erkranken, und da andererseits auch in einzelnen Ländern nördlicherer Breitengrade die Paralyse auffallend selten vorkommt, so z. B. in Norwegen, in Bosnien und bei den Türken. Auch am Rassenunterschied kann es nicht liegen, da fernstehende Rassen sich gegenüber der Paralyse einheitlich, nahestehende sich verschieden verhalten können. Ebenso wenig kann die verschiedenartige Ernährung ein ausschlaggebender Faktor sein.

Bemerkenswert ist, daß in den Tropen bei den Eingeborenen die Syphilis in den ersten Jahren nach der Infektion häufig außerordentlich schwere Erscheinungen hervorruft, ohne aber zur Paralyse zu führen. Dies erweckt den Eindruck, daß ein schwerer Verlauf der Frühsyphilis ganze Völker vor der Erkrankung an Paralyse schützt, wie auch bei uns zu Lande, wie ich bereits ausgeführt habe, einer zunächst milde verlaufenden Syphilis weit häufiger Paralyse zu folgen pflegt, als einer scheinbar bösartigen, in den ersten Jahren mit besonders auffälligen Symptomen einhergehenden Syphilis. In den Kulturstaaen der alten Welt hat nun die Syphilis im Laufe der Jahrhunderte zweifellos ihren Charakter geändert. Denn als die Syphilis von der Schiffsmannschaft des Columbus Ende des 15. Jahrhunderts aus Amerika nach Europa eingeschleppt wurde, verbreitete sie sich mit ungeheurer Geschwindigkeit und trug alle Merkmale einer Seuche, man nannte sie auch Lustseuche, der viele Menschen schon in den ersten Jahren nach der Infektion zum Opfer fielen. Allmählich wurde der Verlauf der Syphilis immer milder, und erst, als sie die scheinbare Harmlosigkeit der Verlaufsform angenommen hatte, vermochte sie die Paralyse zu erzeugen. Zwei bis drei Jahrhunderte vergingen, bis diese merkwürdige Wandlung sich vollzogen hatte. Betrachtet man die Geschichte der Syphilis, so erscheint die Paralyse als eine eigenartige Entwicklungsphase dieser Krankheit, die in unseren Zonen relativ spät in Erscheinung trat und, wie es scheint, einstweilen an Häufigkeit noch zunimmt. Fraglos werden heute mehr Menschen paralytisch als vor 50 Jahren, aber es ist doch nicht ganz sicher, ob mehr *Syphilitiker* heute paralytisch werden als vor 50 Jahren, d. h. ob die zweifellose Zunahme der Paralyse nicht lediglich



bedingt ist durch die Zunahme der Syphilis. Sicher ist jedenfalls, daß die Syphilis viel älter ist als die Paralyse, und das ist auch einer der Gründe gewesen, daß man die Paralyse lange Zeit hindurch nicht als syphilitische Erkrankung anerkennen wollte, bis erst die Serologie und der Spirochaetennachweis die enge Beziehung der Paralyse zur Syphilis sicherstellte. Damit, daß wir nun die Paralyse klinisch zuverlässig diagnostizieren können, daß wir mit Hilfe der Liquoruntersuchung auch die in ihren Erscheinungen und ihrem Verlauf ungewöhnlichen Formen als der Paralyse zugehörig ermitteln, daß die der Paralyse zugrunde liegenden anatomischen Veränderungen durch *Nißl* und *Alzheimer* auf das genaueste ausgearbeitet werden konnten und schließlich damit, daß der Nachweis des Erregers der Syphilis im Gehirn gelang, ist ungemein viel erreicht worden, aber trotz aller dieser Fortschritte ist das Wesen der Paralyse auch heute nicht geklärt. Ebenso wenig wie wir wissen, warum gewisse Völker von der Paralyse befallen werden, andere nicht, wissen wir, warum innerhalb einer Volksgemeinschaft, in der die Paralyse heimisch ist, der eine Syphilitiker paralytisch wird, der andere nicht. Denn die Beobachtung, daß einer leichten Form der Syphilis die Paralyse eher folgt als einer schweren, gibt an sich keine Erklärung, zumal ja die milde Syphilis keineswegs immer zur Paralyse führt, sondern auch hier wieder nur ein relativ kleiner Teil der Fälle paralytisch wird. Die Frage nach dem Wesen der Paralyse ist keineswegs eine rein akademische, sondern eine eminent praktische. Denn erst, wenn wir das Wesen der Paralyse und damit ihre Sonderstellung im Rahmen der syphilitischen Erkrankungen erkannt haben, werden sich die Wege für eine Heilung dieser Krankheit eröffnen.

Es liegt auf der Hand, daß die Paralyseforschung, nachdem nunmehr der Nachweis der Spirochaete pallida im Gehirn gelungen ist, sich zur *Spirochaetenforschung* wandeln und festzustellen suchen muß, ob die Besonderheit der Krankheit aus dem Krankheitserreger zu erklären ist.

Die Spirochaeten befinden sich bei den Paralytikern in der Hirnrinde, also in den Bezirken, in denen sich auch der paralytische Krankheitsprozeß abspielt. Somit kann füglich nicht bezweifelt werden, daß die Spirochaeten die Paralyse erzeugen. Mit dieser Erkenntnis ist noch nicht allzu viel gewonnen. Denn im allgemeinen erzeugen die Spirochaeten in der Hirnrinde Hirnsyphilis, einen andersartigen Prozeß, und keine Paralyse. Für die Entwicklung der Paralyse müssen also besondere Bedingungen gegeben sein. Sie können in der Spirochaete selbst liegen. Die Möglichkeit ist ins Auge zu fassen, daß eine besondere Spirochaetenart die Paralyse erzeugt, daß es also eine *Paralysespirochaete* gibt. Wie haben wir uns nun eine solche Varietät vorzu-

stellen? Einmal wäre es denkbar, daß neben der gewöhnlichen Syphilisspirochaete äußerlich gleichartige Stämme existieren, die jeden Menschen, der das Unglück hat, gerade von einem solchen Stamme infiziert zu werden, zum Paralytiker machen. Die relative Seltenheit der Paralyse könnte man sich aus der relativen Seltenheit solcher Paralysespirochaetenstämme erklären. Gegen diese Anschauung lassen sich gewichtige Einwände erheben. Denn wäre dem so, so müßten alle Frauen und Kinder von Paralytikern, soweit sie von ihnen mit Syphilis infiziert werden, ebenfalls an Paralyse erkranken. Der Paralytiker vermag seine Syphilis auf Frauen und Kinder, wenn er sich bereits im Stadium der Paralyse befindet, nicht mehr zu übertragen. Die Infektion erfolgt in einem wesentlich früheren Stadium seiner syphilitischen Infektion, da aber sehr häufig. Wir haben dieser Frage besondere Untersuchungen gewidmet und gefunden, daß reichlich  $\frac{1}{3}$  der Frauen und reichlich  $\frac{1}{3}$  der Kinder der Paralytiker syphilitisch, also mit der Spirochaetenart, die bei ihren Gatten und Vätern zur Paralyse geführt hat, infiziert sind. Sie müßten sämtlich paralytisch werden, wenn es wirklich übertragbare Paralysestämme gäbe. In Wirklichkeit werden sie nur zu einem kleinen Bruchteil paralytisch, in einem Prozentsatz, der kaum höher liegt, als man ihn in den Familien von gewöhnlichen Syphilitikern findet. Gleichwohl könnte eine mit der besonderen Eigenschaft, die Paralyse zu erzeugen, ausgestattete Spirochaete existieren. Aber diese Eigenschaft könnte nicht bereits zur Zeit der Infektion bestehen, sondern müßte erst im Organismus des Infizierten allmählich erworben werden und ihre Ausbildung in einem Stadium der Syphilis vollenden, in dem die Krankheit auf andere nicht mehr übertragbar ist. Mit dem nun paralytisch gewordenen Individuum würde dann der zum Paralysestamm gewordene Spirochaetenstamm jeweils regelmäßig zugrunde gehen. Trifft diese Auffassung zu, so ist zu folgern, daß gewisse Menschen den Spirochaeten die Bedingungen zu einer biologischen Variation schaffen, daß sie etwa im Sinne eines ungewöhnlichen Nährbodens wirken und sozusagen selbst aus der Syphilisspirochaete die Paralysespirochaete machen. So würde also der Infizierte selbst ein wesentlich mitwirkender Faktor sein, obzwar auch dann nicht auszuschließen wäre, daß nicht alle Spirochaetenstämme, selbst wenn ihnen die nötigen Bedingungen im menschlichen Organismus geboten werden, die Entwicklungstendenz zur Paralyse-spirochaete zu besitzen brauchten.

Vielleicht wird es gelingen, mit Hilfe des *Tierexperiments* etwas mehr in die so schwer deutbaren Verhältnisse Klarheit zu bringen. Dem Tierexperiment verdankt die Syphilisforschung überaus bedeutsame Förderung. Es wäre nicht möglich gewesen, den zwingenden Beweis zu führen, daß die Spirochaete pallida der

Erreger der Syphilis ist, wenn nicht die Übertragung der Syphilis auf Affen und Kaninchen und die Fortzüchtung von Tier zu Tier unter Erzeugung kennzeichnender Krankheitserscheinungen gelungen wäre. Vor allem wäre die Auffindung des Salvarsans durch Ehrlich undenkbar gewesen, hätte Ehrlich nicht im Tierversuch die Wirksamkeit seiner Heilmittel ausprobieren und den Grad ihrer Giftigkeit ermitteln können. Und so hat man sich auch bemüht, zu untersuchen, ob bei Tieren, insbesondere bei Kaninchen, die Spirochaeten in das Nervensystem eindringen und ob hier ähnliche Verhältnisse vorliegen wie beim Menschen. Es gibt Menschen, bei denen schon sehr bald, schon wenige Monate nach der Infektion, die Spirochaeten das Nervensystem befallen und ernste Erkrankungen veranlassen. Da handelt es sich um entzündliche Vorgänge, die wir als echte Hirnsyphilis ansehen und mit der später, wenn überhaupt sich entwickelnden Paralyse kaum in einem Zusammenhang stehen. Man hat die Vermutung geäußert, daß Spirochaeten, die so frühzeitig das Nervensystem schädigen, eine besondere Tendenz zum Nervensystem haben, und hat deshalb von *neurotrophen Spirochaeten* gesprochen.

Daß auch bei mit Syphilis geimpften Kaninchen das Nervensystem syphilitisch erkranken kann, wurde zuerst von Steiner durch anatomische Untersuchung ermittelt. Aber um einen wirklichen Einblick in eine etwa bestehende Neurotropie einzelner Spirochaetenstämme und in sonstige biologische Besonderheiten zu gewinnen, war es unerlässlich, am *lebenden* Kaninchen die Hirn- bzw. Rückenmarkssyphilis zu erkennen und ihren Verlauf unter wechselnden Bedingungen zu studieren. Man war jedoch bisher nicht imstande, nervöse syphilitische Erkrankungen beim Kaninchen während des Lebens der Tiere zu diagnostizieren. Für gewöhnlich erscheinen solche Kaninchen ganz gesund, und in den seltenen Fällen, wo klinische Äußerungen hervortreten, sind diese zu unbestimmt, um eindeutig verwertet werden zu können. Um hier vorwärts zu kommen, mußte der Weg beschritten werden, der zur Feststellung der Infektion des Nervensystems bei zahlreichen Menschen geführt hatte, die für die rein klinische Beobachtung ein gesundes Nervensystem zu haben schienen, nämlich die Untersuchung des Liquor. Die Lumbalpunktion, ein sehr einfacher Eingriff beim Menschen, ist für Kaninchen nicht anwendbar. Nur durch ein umständliches operatives Verfahren war bisher die Entnahme von Liquor bei Kaninchen möglich. Diese Schwierigkeit gelang es vor kurzem zu beseitigen durch Ausbildung einer unblutigen Punktionstechnik, die am Schädel, zwischen oberstem Halswirbel und Hinterhauptsknochen ausgeführt wird und bei dem gleichen Tier beliebig häufige Wiederholungen gestattet (Plaut). *Nunmehr kann man Kaninchen mit Syphilis infizieren und durch Untersuchung des Liquor feststellen, ob und wann die Spirochaeten in das Nervensystem ein-*

*dringen.* Aus den mit dieser neuen Methodik angestellten Untersuchungen von Mulzer und Plaut hat sich nun ergeben, daß es in der Tat *verschiedene Spirochaetenstämme* zu geben scheint, einmal solche, die fast regelmäßig bald nach der Impfung Entzündungen im Nervensystem des Kaninchens hervorrufen und solche, die das Nervensystem unberührt lassen. Nach den bisherigen Feststellungen hat es den Anschein, daß ein Antagonismus insofern besteht, als Spirochaeten, die schwere äußeren Erscheinungen der Syphilis beim Kaninchen hervorrufen, weniger das Nervensystem gefährden als solche, die nur geringfügige äußerliche syphilitische Erscheinungen veranlassen. Besonders interessant war die Beobachtung, daß Spirochaeten von Paralytikern überhaupt nicht zur Infektion von Kaninchen tauglich erschienen, es blieben alle erkennbaren Merkmale der Infektion aus. Trotzdem zeigte eine Reihe von Tieren Liquorveränderungen. Es war also hier zur Infektion des Nervensystems gekommen. Möglicherweise — die Untersuchungen sind noch nicht zum Abschluß gelangt — gibt sich darin eine Sonderstellung der Paralyse-spirochaete kund, daß die Paralyse-spirochaete nur im Nervensystem dauernd zu haften vermag. Durch die in unserer Forschungsanstalt in so glücklicher Weise durchgeführte Zusammenarbeit der verschiedenen Abteilungen konnte die exakte anatomische Untersuchung der mit Spirochaeten verschiedener Herkunft infizierten Kaninchen auf der unter Leitung von Prof. W. Spielmeyer stehenden hirnanatomischen Abteilung durch Dr. K. Neubürger vorgenommen werden. Die histologische Untersuchung bestätigte, daß diejenigen Kaninchen, welche bei Lebzeiten Liquorveränderungen dargeboten hatten, im Gehirn und Rückenmark Entzündungsprozesse zeigten, die mit den syphilitischen Veränderungen bei Menschen weitgehend übereinstimmten.

Diese Arbeiten sind auf praktisch-wichtige diagnostische Ziele gerichtet, von denen ich nur eines andeuten will. Vorausgesetzt, es gibt verschiedene Spirochaetenarten, so ist es wichtig zu erkennen, mit welchen Spirochaeten der gerade infizierte Mensch behaftet ist. Man geht nun so vor, daß man mit dem Blut des Kranken Kaninchen impft und die Art der Syphilis, die sich bei dem geimpften Kaninchen entwickelt, studiert, insbesondere, ob das Nervensystem ergriffen wird und wann dies der Fall ist und welche Form der Hirnsyphilis sich ausbildet. Die schon jetzt ermittelten Tatsachen erwecken einige Hoffnung, daß man auf diesem Wege zu einer *qualitativen Diagnostik* der Syphilis gelangen und prognostische Anhaltspunkte für das Schicksal gewinnen könnte, das den mit dieser oder jener Spirochaetenvarietät infizierten Menschen erwartet. Letztes und wesentlichstes Ziel aller dieser Bestrebungen ist es, die *Therapie der Syphilis* zu verbessern. Es ist nicht ausgeschlossen, daß man



auf Grund der genauen Erforschung von biologischen Varietäten der Spirochaeten im Tierexperiment auch zu einer Differenzierung der Heilmittel gelangt, daß für verschiedenartige syphilitische Infektionen verschiedenartige Heilmittel sich auffinden lassen werden. Bei der bisherigen Behandlung der menschlichen Syphilis hat sich ergeben, daß es leicht beeinflussbare und überaus hartnäckige Formen der Erkrankung gibt. Bei einem Menschen vermag man durch relativ geringe Mengen von Quecksilber und Salvarsan rasch und endgültig dem positiven Wassermann zum Weichen zu bringen, bei anderen Kranken mißlingt dies, so häufige und intensive Kuren man auch verabfolgt. Ebenso liegen die Verhältnisse hinsichtlich der Heilbarkeit der nervösen Syphilis. Liquorveränderungen lassen sich bei dem einen unschwer beseitigen, bei dem anderen sind alle Versuche umsonst. Bei der Paralyse begegnen wir einem vollständigen Versagen der antisiphilitischen Therapie. Die Paralyse erweist sich sowohl dem Quecksilber als dem Salvarsan gegenüber als refraktär. Hingegen sah man öfters gute Behandlungserfolge bei Paralytikern durch andersartige Maßnahmen, so durch Infektion der Kranken mit Malaria (Wagner von Jauregg) sowie durch Infektion mit Rückfallfieber (Plaut und Steiner). Das Versagen jeder eigentlichen antisiphilitischen Therapie wurde auch immer geltend gemacht als ein Beweis gegen die syphilitische Natur der Paralyse. Jetzt wissen wir, daß die Paralyse durch Spirochaeten hervorgerufen wird, daß somit nur eine gegen die Spirochaeten gerichtete Therapie Erfolg bringen kann. Bringt nun die weitere Forschung eine sichere Grundlage für die Sonderstellung der Paralysepirochaete und einen genaueren Einblick in die Art dieser Sonderstellung, so ist zu hoffen, daß mit Hilfe des Tierversuchs sich auch Heilmittel auffinden lassen werden, die der Paralysepirochaete angepaßt sind. Ob die Paralysepirochaete einen primär eigenartigen Typus darstellt oder, was mir, wie ich darlegte, wahrscheinlicher ist, im Körper des Menschen nach der Infektion durch Lebensbedingungen, die ihr bei einzelnen Menschen geboten werden, ihre Eigenart erst gewinnt, das macht für die Versuche zu einer Inangriffnahme einer abgestimmten Therapie keinen wesentlichen Unterschied.

Unter den Infektionen, welche das Gehirn befallen und geistige Erkrankungen hervorrufen, nimmt die Syphilis eine so überragende Stellung ein, daß Infektionen anderer Art daneben fast verschwinden. Mannigfach sind wohl die Formen der Hirnhautentzündung, der Meningitis, wie sie durch den Erreger der Tuberkulose, der epidemischen Genickstarre und durch eine Reihe anderer Bakterien hervorgerufen werden. Auf diesem Gebiete hat die Lumbalpunktion und die Liquoruntersuchung ihre ersten großen Triumphe gefeiert. Im Liquor der Meningitiskranken

konnte man die spezifischen Erreger der verschiedenen Hirnhautentzündungen nachweisen und daraus die Diagnose stellen. Die Gehirnhautentzündung führt zu Zuständen tiefer Benommenheit, aber doch selten zu eigentlichen Geisteskrankheiten, und es fallen diese Krankheitsprozesse daher mehr in das Gebiet der inneren Medizin, während die psychiatrischen Kliniken solche Kranken nicht sehr häufig sehen.

Auch noch andere Infektionskrankheiten, ich nenne Scharlach, Typhus, Gelenkrheumatismus, die im allgemeinen nicht im Gehirn lokalisiert sind, können bisweilen das Gehirn in Mitleidenenschaft ziehen und Veränderungen hervorrufen, die Schwachsinnzustände hinterlassen; so beruht ein Teil der jugendlichen Schwachsinnformen auf solchen Infektionen. In den akuten Stadien trägt bei den meisten derartigen Prozessen die Rückenmarksflüssigkeit die Merkmale der Entzündung und gibt uns wichtige Anhaltspunkte für die Vorgänge, die sich im Nervensystem abspielen.

Leider haben die letzten Jahre der Liquordiagnostik ein großes neues Arbeitsfeld erschlossen in Gestalt der *Encephalitis lethargica*, auch *Gehirngrippe* genannt. Dieses furchtbare, früher unbekannte Leiden hat zahlreiche Opfer gefordert und ist noch immer nicht erloschen. Neben Schlafsucht kann diese Gehirnentzündung in ihrer Erscheinungsweise von sehr wechselvollen geistigen Störungen begleitet sein. Solche geistigen Erkrankungen können die allerschwerigsten diagnostischen Rätsel aufgeben, denn sie können, zumal in ihrem Beginn, Geisteskrankheiten ganz anderer Art vortäuschen. Man kann sie für manische Erregungen, für hysterische Zustände u. dgl. halten und ist dann nicht imstande, den Ernst des Leidens zu erkennen. Auch hier hat die Liquoruntersuchung wiederum ihren Wert erwiesen, denn bei der Mehrzahl der Kranken zeigt der Liquor Veränderungen, die auf entzündliche Vorgänge im Gehirn hinweisen, womit ohne weiteres eine diagnostische Abgrenzung gegenüber allen Geisteskrankheiten gegeben ist, die nicht auf Entzündungsprozessen im Gehirn beruhen.

Die infektiösen Geisteskrankheiten bieten der Ursachenforschung ungeachtet der Unklarheiten, die in manchem, wie z. B. in der Paralysefrage, noch bestehen, doch einigermaßen durchsichtige Verhältnisse dar. Über die Grundfrage, daß das schädliche Agens im Gehirn seine Tätigkeit ausübt und infolge der lokalen Veränderungen, die es veranlaßt, geistige Störung hervorruft, besteht kein Zweifel.

Das Nervensystem beherrscht die Gesamtorganisation des Individuums, alle Funktionen stehen unter dem Einfluß von Anregungen und Hemmungen, die ihnen von der nervösen Zentrale zugehen, und infolgedessen führen Gehirnerkrankungen zu mannigfachen Störungen im Körperhaushalt, die in den verschiedensten Orga-

nen und Organsystemen sich auswirken können. Die im Gefolge von Hirnkrankheiten sich ausbildenden Stoffwechselstörungen können das Krankheitsbild stark beeinflussen, so daß Zweifel darüber auftauchen mußten, ob wirklich alle derartigen Krankheitserscheinungen Folgen der gestörten Hirnfunktion seien und nicht auch selbständige periphere Organerkrankungen sich gleichzeitig abspielen. Eine solche Auffassung ist besonders hinsichtlich der Paralyse geäußert worden. Ebenso wie wir eine maßgebende Beeinflussung sämtlicher Körperteile vom Zentralnervensystem aus beobachten, sehen wir auch umgekehrt, wie die verschiedensten Organe eine Rückwirkung auf das Zentralnervensystem erkennen lassen und in immer mehr wachsendem Maße hat die Forschung die innige *Wechselwirkung der Organfunktionen* erkennen lassen. Der früher ziemlich allein herrschenden Lehre der Verknüpfung der Organe durch nervöse Einflüsse, der *neuralen Korrelation*, hat sich allmählich als ungemein fruchtbare Lehre, die Erforschung der chemischen Verknüpfungen, der *humoralen Korrelation* an die Seite gestellt. Vor allem hat in dieser Beziehung die Funktion der sogenannten *Blutdrüsen* die Aufmerksamkeit der Psychiatrie auf sich gelenkt. Es sind dies eine Reihe von Organen, die nicht, wie die üblichen Drüsen, wie die Niere, die Speichel- und Schweißdrüsen, durch Ausführungsgänge Sekrete nach außen absondern, es sind vielmehr Gebilde, die ohne Ausführungsgänge sind, gleichwohl Stoffe ausscheiden, jedoch nicht nach außen, sondern in die Blutbahn. Solche Drüsen sind u. a. die Schilddrüse, die Geschlechtsdrüsen und die Nebenniere.

Die Produkte dieser *inneren Sekretion*, sie werden *Hormone* oder *Inkrete* im Gegensatz zu den Sekreten der echten Drüsen genannt, sind lebenswichtige Stoffe, die wie Boten an die verschiedensten Stellen des Stoffwechselgetriebes gesandt werden und einen entscheidenden Einfluß auf die Funktion des Gesamtorganismus, und was besonders beim wachsenden Menschen zu erkennen ist, auch auf die Ausbildung der Körperform ausüben. Die Blutdrüsen stehen untereinander in einem unaufhörlichen Austausch von Anregungen und Hemmungen und die Harmonie der körperlichen und zweifellos auch der geistigen Leistungen ist von ihrem ungestörten Zusammenspiel abhängig. Die Rolle, welche die innere Sekretion für das psychische Geschehen spielt, spiegelt sich klar und eindeutig in der Wirkung des *Ausfalls der Schilddrüsenfunktion* wieder. Bei mangelhafter Ausbildung der Schilddrüse unterbleibt die geistige Entwicklung, es entsteht, eine Form der Idiotie, die wir *Cretinismus* nennen. Erfolgt erst in einer späteren Lebensperiode eine Ausschaltung der Schilddrüsenfunktion durch ihre Erkrankung oder durch operative Entfernung, so tritt ein Rückgang der geistigen Leistungsfähigkeit bis

zu erheblicher Verblödung ein. Da man durch rechtzeitige Verfütterung von Schilddrüsen-substanz solche Kranke heilen bzw. die Verblödung hintanhalten kann, unterliegt es keinem Zweifel, daß lediglich dem Fehlen der Schilddrüseninkrete jene vernichtende Wirkung auf die Gehirnfunktion zuzuschreiben ist. Ebenso wie die Herabsetzung kann auch eine krankhafte *Steigerung der Schilddrüsentätigkeit*, wie sie uns bei der *Basedowschen Krankheit* entgegentritt, psychische Störungen im Gefolge haben, und diese stellen in ihrer Erscheinung das Gegenstück zu jenen dar. Während wir bei einer Minderfunktion der Schilddrüse einer Verlangsamung der psychischen Reaktionen bis nahezu zu ihrem Versagen begegnen, finden wir bei der Überfunktion Störungen, die mit lebhaften Erregungssymptomen einhergehen können.

Die Lehre, daß Geisteskrankheiten Gehirnkrankheiten sind, sehen wir hier insofern eingeschränkt, als die primäre Ursache der psychischen Erkrankung bei Störungen der Schilddrüsenfunktion tatsächlich nicht im Gehirn wirksam ist.

Der Einfluß der Schilddrüsenfunktion auf die Psyche macht sich am auffallendsten geltend in ihrer Wirkung auf das *Gefühlsleben*. Die gemütlche Verstumpfung bei Herabsetzung, die erhöhte gemütlche Erregbarkeit bei Steigerung der Schilddrüsentätigkeit gibt sich meist so ausgesprochen zu erkennen, daß französische Forscher die Schilddrüse geradezu als *glande d'émotion* bezeichnet haben. Es hat sich aus solchen Beobachtungen allmählich die Anschauung herausentwickelt, daß die Regulation des Gefühlslebens, der Affektivität, auch unter physiologischen Bedingungen in Abhängigkeit von der inneren Sekretion stehe und daß die Schilddrüse im Verein und in Wechselwirkung mit anderen Organen des Blutdrüsensystems die Stimmungslage des Menschen beherrscht. Es war nur eine natürliche Konsequenz, aus diesen Ideen die Meinung abzuleiten, daß das *manisch-melancholische Irresein* auf einer Störung der inneren Sekretion beruhe. Ob und in welchem Maße solche Vorstellungen tatsächlichen Vorgängen entsprechen, ist bei dem gegenwärtigen Stand der Forschung schwer zu beurteilen.

Noch bei einem zweiten großen Formenkreis von Geisteskrankheiten treffen wir Erscheinungen an, die auf eine Störung der inneren Sekretion hinweisen, bei der *Dementia praecox*. Dieses Leiden, das zu einer eigenartigen Verblödung führt und so häufig ist, daß es die Irrenanstalten der ganzen Welt mit seelischen Krüppeln füllt, entwickelt sich meist in einer frühen Lebensperiode und läßt schon dadurch an Beziehungen zu der Pubertätsentwicklung denken. Das Wirken der inneren Sekretion tritt in der Pubertät auf das machtvollste in Erscheinung. Die gewaltigen Umwälzungen auf körperlichem und seelischem Gebiet, die zur Entwicklung der sekundären



Geschlechtsmerkmale und zur Ausbildung der psychischen Eigenart der Persönlichkeit in dieser Lebensperiode führen, werden von der Tätigkeit der Geschlechtsdrüsen in Gang gebracht und reguliert. Daran kann kein Zweifel sein, denn werden die Geschlechtsdrüsen entfernt, so bleibt die Pubertätsentwicklung mit allen Begleiterscheinungen aus. Es ist nicht zu bestreiten, daß an Dementia praecox leidende Kranke gewisse Züge tragen können, welche an eine gestörte Funktion der Geschlechtsdrüsen denken lassen. Aber es sind doch im ganzen vage Symptome, die vorläufig nur Vermutungen erwecken, keine zuverlässigen Anhaltspunkte bieten.

Wird von einer Stelle des Blutdrüsensystems eine Wirkung auf das Gehirn und damit auf psychische Vorgänge ausgeübt, so geht die Wirkung über die Blutbahn. Denn es ist ja das Kennzeichnende der inneren Sekretion, daß sie entweder direkt oder auf dem Wege über die Lymphbahn in das Blut erfolgt und daß so die Inkrete mit dem Blutstrom an die Stellen befördert werden, an denen sie eingreifen. Damit fällt die Erforschung dieser Fragen auch in das Gebiet der Serologie. Das Serum enthält die Stoffe und es müßte sich ebenso ihr Fehlen wie ihr Vorhandensein im Überschuß nachweisen lassen, wenn es Möglichkeiten des Nachweises für diese Substanzen im Serum geben würde. Diese Möglichkeiten fehlen nun leider zurzeit noch. Bisher ist überhaupt nur bei zwei Stoffen, die der inneren Sekretion entstammen, die Reindarstellung gelungen, bei dem Adrenalin, das von dem Nebennierensystem geliefert wird und ganz neuerdings bei einem Schilddrüseninkret, dem *Thyroxin*. Aber nicht einmal für den Nachweis des Adrenalins, das schon seit längerer Zeit bekannt und hinsichtlich seiner biologischen Wirkungen sorgfältig studiert ist, besitzen wir Methoden, die in ihrer Anwendung auf das Serum zuverlässige Werte ergeben.

In der Immunitätsforschung verstehen wir unter Antigen alle Substanzen von Zellcharakter, wie Bakterien und Protozoen, sowie gelöste Stoffe, z. B. Toxine, welche nach Eindringen in einen artfremden Organismus diesen zur Produktion von Gegenstoffen, Antikörpern, veranlassen. Bei der Serodiagnostik der Infektionskrankheiten spielt der Nachweis der Antigene meist eine untergeordnete Rolle gegenüber dem Nachweis der Reaktionskörper, welche durch die Antigene ausgelöst werden. Auf eine Spur von Antigen kann der Organismus mit einer abundanten Produktion von Antikörpern antworten, deren Vorhandensein im Serum sich daher oft auch dann nachweisen läßt, wenn gar keine Möglichkeit besteht, den Ausgangsstoff selbst im Blut zu ermitteln. Bei Infektionskrankheiten treten *artfremde* Stoffe in den Organismus ein, dies ist bei inneren Erkrankungen, die nicht durch ein äußeres Agens hervorgerufen werden, nicht der Fall. *Abderhalden* hat nun den artfremden Stoffen die *blutfremden* Stoffe an die Seite gestellt;

er geht dabei von folgenden Erwägungen aus: Der Stoffwechsel, d. h. der Auf- und Abbau der Verbindungen vollzieht sich in den Zellen unter dem Einfluß von Fermenten, die auf das genaueste auf die den einzelnen Organen zufallende Tätigkeit abgestimmt sind. Es ist die Aufgabe dieser organspezifischen Fermente in den Zellen darüber zu wachen, daß die Zellen nur solche Stoffe in die Blutbahn entlassen, welche bluteigen sind, d. h. sich in die physiologische Zusammensetzung des Blutes eingliedern. In diesem weiteren Sinne üben die Zellen aller Organe eine innere Sekretion aus. Unter pathologischen Bedingungen wäre es nun möglich, daß Stoffe aus den Zellen in die Blutbahn gelangen, die normalerweise im Blut nicht vorkommen, etwa Eiweißmoleküle, bei denen der Abbau noch nicht genügend vorgeschritten ist. Diese Stoffe wirken reizend, der Organismus muß sich ihrer entledigen, sie aus der Blutbahn eliminieren. Und dies vollzieht sich nun ebenso wie der Stoffwechsel in der Zelle unter dem Einfluß von Fermenten. Da aber das Blut solche organspezifischen Fermente nicht enthält, müssen sie gebildet werden, und es treten nun spezifische, auf die jeweilig in das Blut gelangten arteigenen, aber blutfremden Stoffe eingestellte Fermente auf, die *Abwehrfermente*.

Die *Abderhaldensche Serodiagnostik* bemüht sich nun, solche Abwehrfermente im Serum nachzuweisen und aus ihrer Eigenart zu erschließen, aus welchen Organen die blutfremden Stoffe stammen. Läßt sich nun z. B. bei einem Kranken ein Abwehrferment nachweisen, das auf Gehirnweiß eingestellt ist, d. h. Gehirnweiß abzubauen vermag, so läßt sich folgern, daß das Gehirn des Menschen nicht normal funktioniert. Denn die Abwehrfermente gegen Gehirnschubstanz treten in der Blutbahn nur dann auf, wenn das Gehirn regelwidrige Stoffe in den Kreislauf abgibt. Nicht nur eine solche Dysfunktion von Organen läßt sich auf diesem Wege feststellen, sondern auch, wie *Abderhalden* meint, eine übermäßige Funktion, eine Hyperfunktion, und indirekt wohl auch eine Minderleistung, wenn durch eine solche infolge der chemischen Korrelation in einem anderen Organ eine Störung des Stoffwechsels herbeigeführt wird. Es ist ersichtlich, daß solche Versuche auf die Schaffung einer *Serologie der Organfunktionen* hinzielen. Der Fortschritt, der in der Ausbildung einer solchen Serodiagnostik liegen würde, wäre so gewaltig, daß er alles, was die Serodiagnostik auf dem Gebiete der Immunitätsforschung geleistet hat, in den Schatten stellen würde. Die Untersuchungen mit den Methoden, die *Abderhalden* für den Nachweis der organspezifischen Fermente angab, setzten mit außerordentlicher Begeisterung auf allen Gebieten der Medizin ein. Die Hoffnungen auf die Ergebnisse dieser neuen Forschungsrichtung waren

sehr hoch gespannt, nicht am wenigsten in der Psychiatrie. Denn man hatte jetzt die Möglichkeit, alle die spekulativen Ideen, die man sich über die Entstehung der aus inneren Ursachen sich entwickelnden Geisteskrankheiten — und diese bilden ja die große Mehrzahl der Geisteskrankheiten — gemacht hatte, auf ihren Kern zu prüfen. Vor allem stand jetzt die Erforschung der Rolle, welche die innere Sekretion für die Entstehung der Geisteskrankheiten spielt, der objektiven Analyse offen. Die ersten Untersucher erhielten bemerkenswerte Resultate. So trat wirklich ein Zusammenhang der Dementia praecox mit der Funktion der Geschlechtsdrüsen bei der Abderhaldenschen Serodiagnostik hervor. Das Serum der männlichen Dementia-praecox-Kranken enthielt Abwehrfermente gegenüber Hoden, das der weiblichen gegenüber Ovarien. Es stimmte gut zu dem, was wir über das Abhängigkeitsverhältnis der Organe mit innerer Sekretion voneinander wußten, daß bei Dementia praecox die aus dem Auftreten von Abwehrfermenten erschlossene Dysfunktion nicht auf die Geschlechtsdrüse beschränkt erschien, sondern daß, und zwar häufig, auch die Schilddrüse in Mitleidenschaft gezogen wurde, was man an dem gleichzeitigen Auftreten von Abwehrfermenten gegen Schilddrüsengewebe im Serum erkannte; gleichzeitig gab sich auch die Erkrankung des Gehirns durch spezifische Abwehrfermente kund. Bei anderen Geisteskrankheiten traten wieder andere Kombinationen von Organerkrankungen auf, so daß eine Fülle der Erkenntnis der Psychiatrie aus diesem serodiagnostischen Verfahren beschieden zu sein schien. Leider kam bald der Rückschlag. Bei nüchterner Nachprüfung kamen Versager und unzutreffende, mit den anfänglich gefundenen Gesetzmäßigkeiten nicht in Einklang zu bringende Resultate. Die Übereinstimmung der serologischen Ergebnisse mit der klinischen Diagnostik wurde immer brüchiger, so daß man schließlich einsehen mußte, die Methoden sind für praktisch diagnostische Zwecke der Psychiatrie nicht brauchbar. Man kann mit ihnen keine Diagnose stellen. Was von diesem kühnen Vorstoß in ein unbekanntes Land, wie Abderhalden selbst sein Vorgehen bezeichnete, für die Psychiatrie blieb, war nur eine Verstärkung der Mutmaßung, daß Störungen der inneren Sekretion eine gewisse Bedeutung für die Entstehung von Geisteskrankheiten haben. Man kann wohl sagen, aus dem „vielleicht“ wurde ein „wahrscheinlich“. Aber die ersehnten Beweise für die Art der Zusammenhänge konnten nicht erbracht werden.

Es bleibt zu hoffen, daß eine bessere Methodik uns einmal näher an die tatsächlichen Verhältnisse heranführen wird. Die von Abderhalden geschaffene Arbeitsrichtung verdient weiterhin Beachtung. Ist einmal eine wirkliche Serodiagnostik der nichtinfektiösen Geisteskrankheiten geschaffen, und auf dem Wege zu diesem

Ziele können sich auch die Abderhaldenschen Ideen noch fruchtbar erweisen, so könnte sie uns Grundlagen für die Erkennung des Wesens der Geisteskrankheiten liefern. Sehen wir dann klarer in die Vorgänge, die zu geistigen Störungen führen, so dürfen wir hoffen, daß auch wirksamere Mittel für die Verhütung und Heilung der Geisteskrankheiten aufgefunden werden.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Ergänzende Bemerkung zu meiner Arbeit: Röntgenspektren und chemische Valenz.

In meiner oben genannten Arbeit (diese Zeitschr. 10, 464, 1922) habe ich leider versäumt darauf hinzuweisen, daß R. Swinne in der Phys. Zeitschr. 17, 481, 1916 (S. 487) als erster die Möglichkeit einer Abhängigkeit der Röntgenspektren von der Valenz in Erwägung gezogen und speziell auch das Auftreten von  $K_{\alpha}$ - und  $K_{\beta}$ -Satelliten in unserem Sinne gedeutet hat. München, den 1. Juni 1922.

Gregor Wentzel.

## Deutsche Meteorologische Gesellschaft.

### (Berliner Zweigverein.)

In der Sitzung am 11. April sprach Dr. Kritzingen über Beiträge zur Aufsuchung kosmischer Grundlagen von Klimaperioden und wies dabei namentlich auf einige kosmische Analogien zu Witterungs- und Klimaperioden hin. Bei Untersuchungen periodologischer Art ist die Zusammenfassung zu Pentaden- oder Dekadenmitteln ungeeignet, weil sie kurzperiodische Schwankungen verwischt, dagegen ist das Verfahren von Defant zu empfehlen, die Analyse des Witterungsverlaufs gebietsweise vorzunehmen. Bei Besprechung mehrjähriger Perioden wurde — ausgehend von der elfjährigen Periode, die sich namentlich bei der Temperatur in Gebieten mit geringer Vertikalbewegung ausspricht — darauf hingewiesen, daß in manchen meteorologischen Elementen (Regen, Ostwinden, Hochdruckgebieten über den Alpen) Schwankungen auftreten, die ein Vielfaches von 1,6 Jahren sind. Verf. glaubt im Anschluß an eine Untersuchung von P. Meißner, daß in der Sonnenfleckperiode außer der 11,2jährigen Periode ( $7 \times 1,6$ ) noch 9,9 und 11,9jährige Perioden vorhanden sind, und daß vielleicht durch eine Art von Interferenz ( $22 \times 1,6$  und  $3 \times 11,9$ ), welche die Wellenhöhe der Fleckentätigkeit beeinflusst, die Brücknersche 35jährige Klimaperiode entsteht. Ähnliche Interferenzphänomene könnten die Eastonsche 90jährige Periode ( $9 \times 9,9$  und  $8 \times 11,2$ ) und die Mohorovicicsche Periode von  $\frac{1}{4}$  Jahrtausenden ( $8 \times 35$  und  $3 \times 90$ ) sein. Als kosmische Analogien — nicht etwa als unmittelbare Ursachen — zu diesen Grundzahlen wurden genannt: die Dauer des synodischen Umlaufs der Venus in bezug auf die Erde (1,6 Jahre), der Umlauf des Jupiters um die Sonne (1,9) und die Hälfte des synodischen Umlaufs von Jupiter in bezug auf Saturn (9,9 Jahre). Der Vortragende regte an, diese Analogien zu Vorausberechnungen zu benutzen, insbesondere die Niederschläge nach Perioden von 3,2 Jahre zu bearbeiten.

Ferner gab in dieser Sitzung Lizentiat Schrader Beispiele seines ganz ungewöhnlichen Wettergedächtnisses. Durch zahlreiche Fragen der Anwesenden wurde bewiesen, daß Herr Schrader ohne längeres



Nachdenken das Berliner Wetter jedes Tages seit 1883 nebst Mondstellung und Wochentag nennen kann. — Zum Schlusse machte Prof. Leß Mitteilungen über einen Versuch, Temperaturprognosen für die Tagespresse durch Veröffentlichung von Karten mit voraussichtlichen Isothermen zu verbreiten.

Die Sitzung am 2. Mai wurde durch den Vorsitzenden, Professor Stade mit einem Nachruf auf den am 18. April verstorbenen Professor O. Behre eröffnet, der sich um den Berliner Zweigverein der D. M. G. besonders verdient gemacht hat. Als dann hielt Prof. Dr. Kurt Wegener einen Vortrag über die **aerologischen Flugzeugaufstiege in Adlershof**. Nach einem kurzen geschichtlichen Überblick über aerologische Methoden berichtete er über einige technische Erfahrungen mit den dem Aeronautischen Observatorium Lindenberg gehörigen Flugzeugen. Ein öffentlicher Flugplatz ist möglichst zu vermeiden, bei dem Motor muß mehr auf den Benzinverbrauch für das Höhenkilometer und die Güte des Betriebsstoffes als auf die Stärke des Motors geachtet werden. Hinsichtlich der instrumentellen Methode konnten schon während der kurzen Zeit der Versuche wichtige Feststellungen gemacht werden. Die Innehaltung eines ganz bestimmten Einbaus der Meteorographen (bisher meist zwischen den beiden Tragflächen in  $\frac{1}{3}$  ihres Abstandes von oben gerechnet) scheint nicht notwendig zu sein; es genügt jede gut ventilierte Aufstellung, und zwar besser auf elastischer Unterlage als in federnder Aufhängung. Die bisherige Methode hat sogar wegen ihrer Steuerwirkung für das Flugzeug gewisse Nachteile. Für den Thermometerkörper ist anzustreben, das Verhältnis von Oberfläche zum Volumen zu einem Maximum zu machen. Ferner wurden einige Erfahrungen über die Bestimmung der Windgeschwindigkeit durch Anvisierungen des Flugzeugs von unten in Zwischenräumen von einer Minute mitgeteilt.

Der Vortragende berichtete sodann über einige vorläufige meteorologische Ergebnisse. Es ist nicht richtig, daß die Höhen von Dunst- und Wolkenoberflächen übereinstimmen, sondern die Dunstoberfläche liegt an der Stelle des Maximums der Temperaturinversion oberhalb der Wolken. Es wird dies dadurch erklärt, daß der Staub durch die an den Inversionsschichten entstehende Turbulenz in die Höhe geführt wird. Wahrscheinlich handelt es sich nicht um wahre Turbulenz, sondern um Schwingungen um die Gleichgewichtslage. Prof. Wegener knüpfte hieran allgemeine Erörterungen über die Art der Wellenbildung. — Von Einzelbeobachtungen interessierten besonders das Auftreten einer typischen Cirruswolke mit Sonnenring in 4 km Höhe, ferner dünne Nebelschichten, welche fast regelmäßig unter der eigentlichen Wolkenmasse schwebten, und die mehrfach festgestellte Abbildung der Häuserviertel von Berlin in den Wolken. Der Vortragende schloß mit der Aufforderung zu recht ausgedehnter Benutzung des Flugzeuges bei weiteren meteorologischen Untersuchungen, namentlich bei aktinometrischen und luftelektrischen Messungen. *Sü.*

## Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

**Ein Autostroboskop und ein Glühfadenfarbenkreisel.** (Transactions of the Optical Society 1921—1922, 23, Nr. 2. F. L. Hopwood, An auto stroboscope and an incandescent colour top, Sonderdruck, 5 S., 3 Abb.). 1. Es wird ausgegangen von der Beobachtung, daß zwei

parallele gerade Drähte, von denen der eine glüht, der andere nicht, die um die gleiche Achse gedreht werden, eine dunkle Raumkurve erscheinen lassen, die sich auf die so entstehende leuchtende Fläche projiziert. Mehrfache dunkle Linien (Raumkurven) entstehen, wenn mehrere nicht glühende Drähte in der Nähe des leuchtenden Drahtes angebracht sind. Die Versuchsanwendung wird verfeinert dadurch, daß die Rotation im Vakuum stattfindet oder indem man eine der üblichen Metalledrahtlampen auf der Schwungmaschine befestigt; man sieht dann die nichtleuchtenden Halte-drähte im Raum scheinbar stillstehen. Die Erscheinungen lassen sich alle durch die Abblendung der Lichtquelle durch die nichtleuchtenden Drähte erklären. Und zwar konnten im Bereich von 5 bis 20 Umdrehungen pro Sekunde, der mit der Versuchsanordnung möglich war, der Name des Fabrikanten und andere auf der Glühlampenbirne angebrachte Aufschriften gelesen werden, zum Teil im aufrechten, zum Teil im umgekehrten „Bild“. Wie noch eine mit 2 Min. Expositionszeit aufgenommene Photographie einer Zahlenschablone zeigt, die auf einer mit 450 Umdrehungen pro Minute rotierenden Glühlampe befestigt war, kann man auf diese Art die Umrisse eines schnell rotierenden Gegenstandes sichtbar machen ohne Zuhilfenahme eines zweiten beweglichen Teiles; deshalb wurde der Name *Autostroboskop* gewählt für eine solche sehr einfache Vorrichtung, deren Vorteile sind, daß sie „1. Synchronismus bei allen Geschwindigkeiten ergibt, ohne daß besondere Hilfseinstellungen notwendig sind, 2. einfach aufzubauen ist, 3. sowohl bei Tageslicht, als auch im Dunkeln benutzt werden kann, 4. dazu dienen kann, eine vergrößerte Darstellung einer etwaigen Unregelmäßigkeit des rotierenden Gegenstandes zu geben, wenn man die Lage der Glühlampe (oder der leuchtenden Linie) in bezug auf den Gegenstand geeignet wählt, 5. sehr gut für photographische Aufnahmen geeignet ist.“

2. Eine um ihre Symmetrieachse rotierende Kohlenfaden- (oder Metalledraht-) Glühlampe ergibt mit Gleichstrom sehr schöne Farbenwirkungen, die von der Umdrehungsgeschwindigkeit, der Helligkeit der Fäden und der Aufstellung des Beobachters abhängen und am besten in einem verdunkelten Raum zu beobachten sind. Man kann auch eine (von einigen Wellenlinien in der Mitte abgesehen) im wesentlichen fadenförmige Glühlampe benutzen, die um eine durch die Mitte gehende, zur Fadenlänge senkrechte Achse rotiert. Schließlich wird noch auf eine Umkehrung dieser Erscheinungen hingewiesen, bezüglich deren diese Arbeit nur einen ersten Hinweis bieten sollte. *Erfl.*

**Wüstenausdehnung, Dürren und Abwehrmaßnahmen.** Daß das Klima Nordafrikas in der Vergangenheit Schwankungen unterlegen hat, ist angesichts zahlreicher Befunde nicht zu bezweifeln. Dagegen ist man hinsichtlich seiner heutigen Entwicklungsrichtung noch zu keiner übereinstimmenden Ansicht gelangt. Nach *Gautier* und *Chudeau* ist die Wüste im Norden im Vorrücken begriffen, während im Süden das Gegenteil der Fall ist; hier weise insbesondere das Festwerden der Dünen auf wachsende Niederschläge hin. Demgegenüber hat *Hubert* am Senegal ein Austrocknen und Brackigwerden der Flüsse, ein Versiegen der Quellen, Ausbleiben von Ernten und Vorrücken von Wüstensanden festgestellt, als deren Ursache er eine Abnahme der Niederschläge annimmt. Nicht von der Hand zu weisen ist auch die Mitschuld des Menschen durch Aufgabe eigenen oder Verwüstung fremden Kulturlandes; es scheint geradezu Gesetz zu sein, daß sich



selbst überlassene Kulturstrecken wieder der Wüste verfallen. Inwieweit die Wanderungen nomadischer Stämme Ursache oder Folge zunehmender Wüstenhaftigkeit sind, ist eine noch offene Frage. (*The Desiccation Theory of Northern Africa*; *The Geographical Review* 11, 622, 1921.)

Eine Ausdehnung des Problems auf den ganzen Kontinent, verbunden mit praktischer Nutzenanwendung für den britischen Süden, enthält ein Buch des südafrikanischen Professors E. H. Schwarz, „Die Erlösung der Kalahari“ (*The redemption of the Kalahari*; *The Geographical Review* 11, 623, 1921). Für den Verfasser ist die im ganzen unverkennbare Austrocknung der inneren Teile Afrikas eine Folge des Kampfes um die Wasserscheide. Seinem Hochland- und Beckencharakter gemäß wird Afrika durch zwei Gruppen von Flüssen entwässert, durch die träge fließenden, die abflußlosen Becken des Innern speisenden und die gefällsreichen Randflüsse der Küstenabdachungen. Da die Erosionskraft der Randflüsse größer als die der Binnenflüsse ist, so findet mittels Anzapfung eine zunehmende Einbeziehung von Teilen der inneren in die Systeme der Randflüsse statt. So habe der Benue-Teil des Tschadsystems, so der Sambesi und der Cunene erhebliche Netzbezirke der zu den „Piannen“ Südafrikas eilenden Rinnen unter teilweiser Umkehr ihrer Laufrichtung an sich gerissen. Parallel der mit Beschleunigung der Entwässerung zur Küste erfolgenden Trockenlegung der Becken verringere sich die der Luftzirkulation unterworfenen Wassermenge des Innern, das daher immer wüstenhafter werden müsse. Da dieser Vorgang ein dauernder und zunehmender sei, könnten die gewöhnlichen Abwehrmaßnahmen mittels künstlicher Berieselung keine endgültige Abhilfe schaffen. Dies sei nur möglich durch annähernde Wiederherstellung der alten Entwässerungsverhältnisse, also durch künstliche Festlegung der Wasserscheiden und durch Vereitelung der weiteren Minderung der inneren Abflußsysteme seitens der Randflüsse, und zwar durch den Bau großer Dämme in den Oberläufen der letzteren. Durch Anlegung eines solchen im oberen Cunene-tale glaubt Schwarz eine Umkehr der dem Etoschasysteme entrissenen Läufe und eine erneute Füllung der Etoschapanne bewirken zu können. Ebenso würde durch den Bau eines Wehrs oberhalb der Viktoriafälle des Sambesi das alte abflußlose Okavangosystem wiederhergestellt werden. Der damit erreichte Gewinn einer Wasserfläche von schätzungsweise 50 000 km<sup>2</sup> würde die Verdunstungs- und Niederschlagsverhältnisse im Innern Afrikas steigern, ein Gleichgewicht des Wasserhaushalts herbeiführen und eine Fläche von mehr als 200 000 km<sup>2</sup> wieder in fruchtbaren Zustand versetzen. — Die gegen diese weitausblickende Hypothese und ihre kühne Nutzenanwendung vom meteorologischen und technischen Standpunkte aus gemachten Einwände bezweifeln, daß die zur Wiederbelebung des Innern erforderliche Wassermenge auf diesem Wege erreichbar sei. Auch ist auf die zunehmende Verschlammung der Flüsse im Ovamboland als auf eine Ursache des Wasserschwindens hingewiesen worden, die sich nach Durchführung der vorgeschlagenen Maßnahmen weiter geltend machen würde. Immerhin haben die Darlegungen Schwarz' dem Probleme neue weiter auszubauende Seiten abgewonnen und daß sie verdienen, praktisch erwogen zu werden, lehrt die Tatsache, daß die Bekämpfung der Dürren des nordöstlichen Brasiliens sich auf ähnlichen Gedankengängen aufbaut. (*O Problema das seccas do Nordeste resolvido por Luiz Mariano de Barros Fournier*; Rio de Janeiro 1920.)

Einen Beitrag zu den Verbesserungsmöglichkeiten des Klimas des von Dürren heimgesuchten Australiens liefert E. T. Quayle (*Modifying climate by human agency in southeastern Australia*; *The Geographical Review* 11, 626, 1921). Er ist auf Grund dreißigjährigen meteorologischen Beobachtungsmaterials der Ansicht, daß der Verbesserung der „Verdunstungsoberfläche“ (evaporation surface) regelmäßig eine Zunahme der Niederschläge folge. In Neu-Südwaales und in Südaustralien sei nach Ersatz des ursprünglichen, aus Zweigenkalypden, das Wasser sehr festhaltenden Pflanzen zusammengesetzten „Mallee scrub“ durch Gras- und Ackerland eine Steigerung der Niederschläge in den kultivierten und in den leewärtsgelegenen Strichen erfolgt. Die so ermöglichte Verbesserung des Klimas sei von praktischer Bedeutung freilich nur unter normalen Luftfeuchtigkeitsverhältnissen und nicht imstande, den Dürren, die jahrweis herrschenden antizyklonalen Luftbewegungen folgen, irgendwie Eintrag zu tun.

Auch China leidet bekanntlich unter Hungersnöten, die z. T. durch Dürren, z. T. durch Überschwemmung des Tieflandes verursacht werden. Dürren sollen sich während der letzten 1000 Jahre insgesamt an 800 ereignet haben, darunter 91 von besonderer Stärke. Sie können durch künstliche Mittel, durch bessere Erkennung der verursachenden klimatischen und hydrographischen Erscheinungen, durch dem angepaßte Kulturmethoden, Berieselung und Aufforstung zwar nicht beseitigt, aber doch gemildert werden. Was die durch Überschwemmungen hervorgerufenen Hungersnöte anlangt, denen besonders das untere Hoanghotal ausgesetzt ist, so sind neuerdings Abwehrmaßnahmen durch den amerikanischen Ingenieur Freeman vorgeschlagen worden (*Flood control as an aid to relief from famine in China*; *The Geographical Review* 12, 139, 1922). Ausgehend von der Beobachtung, daß der Hoangho während des Hochwassers sein Bett vertieft und nahezu seine gesamten Sedimente ins Meer führt, glaubt Freeman durch Geradlegung und Eindeichung den Strom zwingen zu können, sein Bett selbst freizulegen und durch geeignet angelegte Durchlässe eine geregelte Berieselung jetzt unfruchtbarer Strecken zu erzielen. Auch auf die kleineren Nachbarflüsse wäre dieses Regulierungswerk auszudehnen, während das zwischen den beiden Betten des Gelben Flusses gelegene Schanthal aufzuforsten und mit Talsperren zu versehen sei.

B. Brandt.

In einer Sitzung (3. April 1922) der Gesellschaft für Physik und Chemie zu Madrid wurden u. a. zwei Arbeiten mitgeteilt, die im Zusammenhang mit dem Problem der Isotopie stehen.

O. Hönigschmid legte seine Neubestimmung des Verbindungsgewichts des Bors vor. Wie F. W. Aston mit Hilfe der Kanalstrahlenanalyse fand, weist das in der Natur vorkommende Bor zwei Isotopen auf: die Hauptkomponente vom Atomgewicht 11,0 und einen Begleiter vom A.G. 10,0. Aus der relativen Intensität der betr. Flecke im Massenspektrogramm berechnet Aston als Minimalwert für das Verbindungsgewicht (mittleres oder praktisches Atomgewicht) des Bors  $10,75 \pm 0,07$ . Dieser Wert steht nicht in Übereinstimmung mit dem auf chemischem Wege ermittelten Verbindungsgewicht des Bors und zwar weder mit dem bis vor kurzem geltenden Wert 11,0, noch mit dem neueren von van Haagen und Smith (1917) gefundenen 10,90.

Hönigschmid hat zusammen mit L. Birckenbach ein von A. Stock sorgfältigst dargestelltes Bortrichlorid



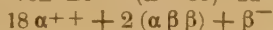
analysiert und hat für das Verbindungsgewicht des Bors im Mittel den Wert 10,82 erhalten, der mit der Aston'schen Schätzung innerhalb deren Genauigkeit noch eben übereinstimmt. Zu einem fast identischen Wert 10,83 gelangte kürzlich auch G. P. Baxter, wie aus einem Referat in den Chemical Abstracts hervorgeht.

Die von K. Fajans in der gleichen Sitzung aufgeworfene Frage, weshalb bei einigen Elementen eine größere Zahl von Isotopen, bei anderen nur eine oder wenige Komponenten existieren, hängt innigst mit der Frage nach der Stabilität der Atomkerne zusammen. Denn es kann kaum zweifelhaft sein, daß z. B. das Brom vom Verbindungsgewicht 79,92, das ein Gemisch vom  $\text{Br}^{79}$  und  $\text{Br}^{81}$  vorstellt, aus dem Grunde keine Komponente vom A. G. 80 enthält, weil  $\text{Br}^{80}$  instabil ist.

Es wird nun zunächst als eine zurzeit ausnahmslos geltende Regel festgestellt, daß Elementarten, deren A. G. durch vier teilbar ist ( $A. G. = 4n$ ) und die eine ungerade Ordnungszahl ( $Z = 2m + 1$ ) besitzen, instabil sind. Unter den bis jetzt festgestellten 19 Bestandteilen der gewöhnlichen stabilen Elemente von ungerader Ordnungszahl ist kein einziger bekannt, dessen A. G. von der Form  $4n$  wäre. Auf der anderen Seite gibt es unter den Radioelementen nur drei mit A. G.  $4n$  und  $Z = 2m + 1$ , es sind dies Mesothorium 2, Thorium C und Thorium C', deren A. G. gleich 228, 212 und 208, deren Z gleich 89, 83 und 81 sind. Diese Radioelemente sind aber  $\beta$ -Strahler, von den der langlebigste eine Halbwertszeit von nur 6 Stunden hat, sie sind also selbst im Vergleich mit vielen Radioelementen instabil. — Der tiefere Grund für das Bestehen der obigen Regel wird in zwei Faktoren gesucht:

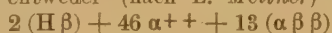
1. wird den in den Atomkernen enthaltenen negativen Elektronen ( $\beta^-$ ) das Bestreben zugeschrieben (unter Verallgemeinerung der Betrachtungen von W. D. Harkins und besonders von L. Meitner), mit den positiven Konstituenten der Kerne ( $\alpha^{++}$ -Teilchen und  $\text{H}^+$ -Teilchen) zu Neutralgruppen ( $\alpha^{++} \beta^-$  und  $\text{H}^+ \beta^-$ ) zusammenzutreten. 2. wird der „Instabilitätssatz“ aufgestellt, wonach Atomkerne, welche solche negative Elektronen enthalten, die keiner Neutralgruppe angehören, instabil sind.

In Atomkernen, deren A. G.  $4n$  beträgt, sind infolge des großen Energiegewinns bei der Bildung des  $\alpha$ -Teilchens aus  $4\text{H}^+ + 2\beta^-$  als positive Bestandteile nur die  $\alpha^{++}$ -Teilchen (keine freien  $\text{H}^+$ -Teilchen) anzunehmen. Deshalb enthalten solche Kerne, wenn ihre Kernladung ungeradzahlig ist, überschüssige, keiner Neutralgruppe angehörende Elektronen und müssen deshalb nach 2. instabil sein. So ist z. B. die Zusammensetzung von  $\text{Br}^{80}$  ( $Z = 35$ ) zu schreiben:

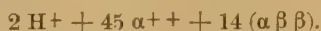


und seine Nichtexistenz auf den „Instabilitätssatz“ zurückgeführt.

Bei denjenigen Atomkernen, deren A. G. von der Formel  $4n + 1$ ,  $4n + 2$ ,  $4n + 3$  sind, die somit neben  $\alpha$ -Teilchen überschüssige  $\text{H}^+$ -Teilchen enthalten, ist die Zuordnung der  $\beta$ -Teilchen zu Neutralgruppen nicht so eindeutig. So kann man z. B. den Kern des UI formulieren entweder (nach L. Meitner)



oder



Doch läßt sich für alle bekannte stabile Atomkerne die Zuordnung durchführen, ohne auf einen Widerspruch mit dem „Instabilitätssatz“ zu stoßen.

(Näheres vergl. die soeben erschienene 4. umgearbeitete Auflage von K. Fajans, Radioaktivität und die neueste Entwicklung der Lehre von den chemischen Elementen, S. 89—96.) K. F.

**Das Fließen des Metalles beim Warmpressen und Hämmern.** Einer der wichtigsten vorbereitenden Prozesse bei der Verarbeitung der Metalle, speziell von Eisen und Stahl, ist das heiße Durchkneten des Materials in Warmpressen oder unter einem Maschinenhammer. Der Hauptunterschied dieser beiden Arbeitsweisen besteht darin, daß der Stempel der Presse das Metallstück langsam eindrückt, während der Hammer, der dieselbe Form wie die Stempel haben kann, auf das Metall einen kurzen Schlag ausführt, der eine ähnliche Formänderung, wie beim Pressen, hervorruft. In der Technik ist man vielfach der Ansicht, daß das Pressen dem Hämmern vorzuziehen ist, weil damit eine bessere Durchknetung des Metalls verbunden sei.

Diese Frage hat Massey<sup>1)</sup> untersucht, und zwar mit Hilfe einer Methode, die für die Verfolgung des Fließvorganges im Innern von Metallmassen schon sehr oft benutzt worden ist. Diese Methode besteht darin, daß der Arbeitsvorgang an einem Wachsmodell ausgeführt wird, das in übersichtlicher Weise aus Schichten verschiedener Farbe zusammengesetzt ist. In einem Schnitt kann dann das Fließen beobachtet werden. Solche Modelle in Form von Zylindern von 2,5 Zoll Höhe und 1 Zoll im Durchmesser wurden in axialer Richtung beansprucht, und zwar sowohl durch langsamen Druck wie durch Schlag. Es zeigte sich, daß die innere Bewegung des Materials in beiden Fällen dieselbe war. Ein am oberen Ende liegender, durch das Werkzeug unmittelbar beanspruchter konischer Teil wurde en bloc in den unteren Teil eingetrieben, der dadurch von der Axe ausgehende Zugspannungen erhielt, die zuweilen zum Aufreißen führten. Die oft vertretene Ansicht, daß beim schnellen Hammerschlag das Fließen vorwiegend nur in den in Berührung mit dem Hammer kommenden Oberflächenschichten stattfindet, während beim Pressen die ganze Masse des Metalles fließt, ist also irrtümlich. Damit fällt aber nach Ansicht von Massey auch der Grund fort, das Pressen dem Hämmern technisch vorzuziehen.

Hierzu ist folgendes zu bemerken: Es ist nicht weiter erstaunlich, daß die Geschwindigkeit der Deformation im untersuchten Falle nur von geringem Einfluß auf die innere Bewegung der Metallmasse ist, weil der äußere Zwang, dem der Metallzylinder ausgesetzt ist, nur verhältnismäßig gering ist. Außer der oberen und unteren Basisfläche kann sich der Zylinder frei bewegen, und die innere Bewegung folgt unmittelbar geometrisch der Kraftverteilung. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei einem Zerreißversuch. — Wesentlich anders verhalten sich jedoch die Metalle, wenn sie zum Beispiel gewalzt oder gezogen werden. In diesen Fällen hängt der Fließvorgang ziemlich weitgehend von der Reibung an den Flächen der Walze oder der Ziehdiüse ab.

Trotz der übereinstimmenden Geometrie des Fließvorganges im ersteren Falle besteht jedoch zwischen der langsamen und schnellen Deformation ein sehr wesentlicher Unterschied, den Massey anscheinend übersehen hat. Wenn das Metall bei der Deformation auch keine äußere Reibung zu überwinden hat, so treten bei den inneren Verschiebungen doch sehr erhebliche Reibungskräfte auf; die durch sie verursach-

<sup>1)</sup> Engineering CXII, Nr. 2916, 18. November 1921.

ten Spannungen superponieren sich den von den äußeren Kräften herrührenden und ergeben bei großen Deformationsgeschwindigkeiten eine viel stärkere Belastung des Materials: die Sprödigkeit des Materials nimmt mit der Deformationsgeschwindigkeit zu, und mit ihr auch die Gefahr der Bildung von inneren Rissen oder allgemeiner von Fehlern im Material. Aus diesem Grunde wird man wohl den Preßvorgang dem Warmhämmerprozeß technisch vorziehen müssen.

G. Masing.

**Silumin.** In dem Metallaboratorium der Metallbank in Frankfurt a. M. ist eine neue Aluminium-Silizium-Legierung hergestellt worden, die die bisher in der Aluminiumindustrie benutzten Gußlegierungen hinsichtlich ihrer technischen Eigenschaften recht erheblich übertrifft. Aluminium-Silizium-Legierungen waren auch früher vielfach hergestellt worden, zeigten jedoch im Guß so schlechte technische Eigenschaften, daß sie kaum zur Verwendung gelangten. Es ist jetzt gefunden worden, daß bei dieser Art von Legierungen gewisse Zuschläge eine sehr wesentliche Verbesserung der technischen Eigenschaften hervorrufen. In der Tabelle sind zum Beispiel die Festigkeiten und Dehnungen einiger Legierungen wiedergegeben.

|                              | Zusammensetzung |      |        |      | Spez. Gewicht | Mech. Prüfung                    |              |
|------------------------------|-----------------|------|--------|------|---------------|----------------------------------|--------------|
|                              | Zn %            | Cu % | Si %   | Al % |               | Festigkeit<br>kg/mm <sup>2</sup> | Dehnung<br>% |
| Silumin .....                | —               | —    | 11—14  | Rest | 2,5—2,65      | 20                               | 5—10         |
| Al-Si-Legierung .....        | —               | —    | 11—14  | Rest | —             | 10—12                            | 0—1          |
| „Amerikanische“ Legierung .. | —               | 8    | Spuren | Rest | 2,85—2,9      | 12                               | 1—2          |
| „Deutsche“ Legierung .....   | 10              | 2    | Spuren | Rest | 2,9—2,95      | 15                               | 2—4          |

Man ersieht aus dieser Tabelle die Überlegenheit des Silumins nicht nur gegenüber der alten Al-Si-Legierung von derselben Zusammensetzung, sondern auch gegenüber den technischen, unter den Namen der „Deutschen“ und „Amerikanischen“ bekannten Legierungen.

Die physikalische Ursache dieser technischen Überlegenheit den früher bekannten Al-Si-Legierungen gegenüber scheint bei gleicher Zusammensetzung in erster Linie in dem sehr erheblich feineren Kristallkorn des Silumins zu liegen. Dieser Einfluß der Korngröße findet sich erfahrungsgemäß bei den meisten Metallen und Legierungen und bietet deshalb an und für sich nichts Überraschendes. Der Fortschritt wurde dadurch möglich, daß es gelungen ist, ein Verfahren aufzudecken, welches gestattet, den Dispersitätsgrad der Legierung in ungeahnter Weise zu erhöhen. Eine völlige wissenschaftliche Erklärung der Einwirkung kann heute noch nicht gegeben werden, offenbar ist die Ursache in einer eigenartigen Beeinflussung des Kristallisationsprozesses zu suchen.

Auch hinsichtlich zahlreicher anderer Eigenschaften, wie Warmfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit, besonders dem Dampf gegenüber, Wärmeleitfähigkeit usw., zeigt sich das Silumin der Deutschen und Amerikanischen Legierung zum Teil recht wesentlich überlegen.

G. Masing.

**Dampfwagen.** Ein nie ganz aufgegebener Plan der Dampf- und Fahrzeugtechnik war, die Dampfmaschine für Fahrzeuge zur Personen- und Lastenbeförderung

auf den Landstraßen dienstbar zu machen. Jetzt ist dieses Bestreben besonders in England wieder zeitgemäß und gewinnt zweifellos auch bei uns, wo der Eisenbahnverkehr immer teurer und die Anlage neuer Bahnen fast unmöglich wird, an Bedeutung. Auch für Länder mit wenig dichtem Bahnnetz wäre ein bewährter Dampfwagen ein sehr zukunftsreiches Verkehrsmittel. Die Straßenzuglokomotiven haben sich bereits ein ausgedehntes Verwendungsfeld geschaffen. Sie erreichen allerdings nur Geschwindigkeiten von 4 bis 8 km in der Stunde und ziehen den eigentlichen Lastwagen.

In der englischen Zeitschrift „The Engineer“ vom 7. April 1922 findet sich ein Dampfwagen beschrieben, dessen Formen durchaus jene des üblichen Lastautos sind. Der senkrechte Kessel für 17½ at Dampfdruck und Verfeuerung von festen Brennstoffen ist vor dem Führersitz angeordnet. Die unter der Lastplattform angebrachte Zwillingsmaschine von zweimal 115 mm Zylinderdurchmesser und 190 mm Kolbenhub mit Joy-Umsteuerung und Kolbenschiebern treibt durch eine Krummachse eine zweiteilige Blindwelle an, welche durch doppeltes Kettengetriebe mit den auf einer fest gelagerten Achse drehbaren Hinterrädern gekuppelt ist. Sämtliche Lager sind Rollenlager. Ein

Differentialgetriebe in Verbindung mit der Blindwelle erlaubt die Verdrehung der Räder gegeneinander beim Befahren von Kurven. Die Geschwindigkeitsregelung erfolgt durch die schon erwähnte Joy-Expansionsumsteuerung, sodann durch eine Drosselklappe im Dampfzuströmröhr mit Pedalbedienung. Die Kraftübertragung von der Maschinenwelle auf die Blindwelle kann mit zwei verschiedenen Zahnradübersetzungen geschehen, deren eine, rascheste, jedoch wenig benötigt wird. Beim Wechsel des Vorgeleges wird die Maschine gestoppt. Durch verschiebbare Lager ist vorgesorgt, daß das Gußgehäuse, welches Blindwelle und Maschinenwelle mitsamt der Zahnradübertragung und dem Differentialgetriebe umfaßt, nicht vom Rahmen her beansprucht werden kann. Die größte Nutzlast für den Dampfwagen beträgt 10 t, die noch auf „vernünftigen“ Steigungen befördert werden können. Als mittlere Geschwindigkeit des Wagens in der Ebene werden 22 bis 24 km in der Stunde angegeben, als mittlere Belastung 6,5 t. Dabei beträgt der Kohlenverbrauch 370 g pro Tonnenkilometer, der Wasserverbrauch 18,35 kg pro Kilometer. Die Maschine arbeitet mit Auspuff. Der Kessel eines solchen Dampfwagens ist der noch am meisten verbesserungsfähige Teil. Er hat auch beim vorstehend beschriebenen Wagen nicht ganz Entsprochen und soll künftig durch eine andere, neuartige Bauart ersetzt werden.

L. Schneider.



## Astronomische Mitteilungen.

### Jahresbericht der Mount-Wilson-Sternwarte 1921.

Wie im Vorjahre, sei auch diesmal das Wichtigste aus den ausführlichen Berichten über ihre Tätigkeit vom 1. September 1920 bis 1. September 1921 wiedergegeben, wiederum nur hinsichtlich des astronomischen Teils, das Physikalische und die Forschungen über die Sonne Berufenen überlassend.

Die Welt der Nebelflecken und besonders die der Spiralen ist trotz aller Bemühungen noch sehr rätselhaft. Neues ist vor allem von photographischen Aufnahmen mit lichtstarken und langbrennweitigen Instrumenten zu erwarten, wie es gerade die beiden großen Reflektoren auf dem Mount Wilson sind. Vor allem ist die neue Klassenbezeichnung gewisser weißer Nebel als „Kugelnebel“ (M. 49, 60, 87) bemerkenswert, die anzeigt, daß die zahllosen bisher meist schlechtweg als Spiralen bezeichneten Sternanhäufungen durchaus nicht nur, wie bisher meist angenommen, sehr flache Scheiben sind, sondern alle Grade von Abplattung zeigen können.

Andere Arbeiten betrafen die ausgedehnten Nebel, die gleich dem „Nordamerikanebel“ und anderen in unregelmäßiger Form große Strecken der Milchstraße einnehmen. Zu ihnen gehören auch die dunklen Nebel, die mehr und mehr photographisch aufgefunden werden und in unserem Weltbilde eine immer bedeutendere Rolle zu spielen berufen scheinen. So soll z. B. nach dem Mount-Wilson-Bericht auch die große Gabelung der Milchstraße zwischen Adler und Schlangenträger durch ausgedehnte dunkle Wolken bedingt sein.

Die Verfolgung einer Reihe von veränderlichen Nebeln ergab bei N. G. C. 6729 folgendes: Der Nebel umgibt den veränderlichen Stern R Coronae Austr. Mit zunehmender Helligkeit dieses änderten sich auch die Details des Nebels so stark, daß von Tag zu Tag Bewegungen festgestellt werden konnten. Bei konstantem Licht des Sterns blieb alles im Nebel ruhig. Nach verschiedenen Methoden konnte die Entfernung des Objektes von uns zu 300 Lichtjahren ermittelt werden, in nahe gleicher Entfernung also wie die Plejaden, d. h. in unserer engeren Nachbarschaft. Langperiodische Veränderungen konnten durch Vergleich mit früheren Aufnahmen bei dem komplizierten Grabnebel ermittelt werden, für den sich ebenfalls eine relativ geringe Entfernung ergab.

Van Maanen hat seine trigonometrischen Parallaxbeobachtungen fortgesetzt. Für sechs langperiodische Veränderliche ergab sich unter anderem als absolute Größe im Maximum im Mittel  $+1^m$ , 5, d. h. die Sterne sind dann „Rote Riesen“, große Gasbälle sehr niedriger Dichte und Temperatur, was für jede Theorie zur Erklärung ihrer wechselnden Leuchtkraft von größter Bedeutung ist. Die Umgebung von Aldebaran wurde auf Eigenbewegung der schwachen Sterne untersucht. Es zeigte sich, daß keiner von 65 Sternen zu dem bekannten Taurusstrom gehört, daß also — im Gegensatz zu den Plejaden — die physische Hyaden-gruppe nur relativ wenige Zwerge enthält.

Von den photometrischen Untersuchungen nehmen einen großen Teil ein die der Kapteynschen „Selected Areas“ sowie die weitere Prüfung und Festigung der photometrischen Skala (Plejaden und Polsequenz). Von großer prinzipieller Bedeutung sind ferner die statistisch-photometrischen Untersuchungen — das Wie zu erörtern, ist hier nicht der Platz — über die fernen Milchstraßenwolken und die teilweise dazwischenliegende dunkle Materie. Vorläufige Ergebnisse besagen, daß die hellen Wolken im Skutum,

Perseus usw. 20—30 000 Lichtjahre fern sind, so im ganzen eine Bestätigung des neueren, wesentlich von Shapley errichteten Weltbildes.

Der Spektrograph hat auf dem Mount Wilson eine Reihe neuer Beobachtungszahlen geliefert. So über 250 neue Radialgeschwindigkeiten, die im einzelnen zum Teil zu interessanten Ergebnissen führten. Besonders scheinen die Mira-Ceti-Veränderlichen (siehe auch oben) sich durch sehr hohe individuelle Bewegungen auszuzeichnen. Zu den 1646 veröffentlichten spektroskopischen Parallaxen traten ca. 350 neue hinzu. Auf Grund von 2100 Einzelwerten zeigt ein sehr anschauliches Diagramm die volle Bestätigung der Russel-Hertzsprungschen Theorie über Riesen und Zwerge.

Da wir von so vielen Sternen die Entfernungen, Radialgeschwindigkeiten und Eigenbewegungen kennen, ist es nun möglich, genauere Untersuchungen über die räumlichen Geschwindigkeiten der Sterne zu machen. Bekanntlich haben die hellsten Riesen, die B-Sterne, relativ zum Sternsystem unserer Umgebung sehr geringe Geschwindigkeiten. Es zeigte sich eine sehr regelmäßige Zunahme der Geschwindigkeiten bei den Riesen mit abnehmender Leuchtkraft, ca. 3 km in der Sekunde auf 1 m, während die Zwerge höhere Geschwindigkeiten haben, die aber in wenig engem Zusammenhang mit ihrer Leuchtkraft stehen. Eine mechanische Erklärung für diese Verhältnisse steht heute noch aus. Eine Reihe weiterer kurzer und vorläufiger statistischer Untersuchungen sei übergangen; erwähnt nur noch das Ergebnis einer Massenbestimmung von Doppelsternen, abhängig vom Spektraltypus. Im wesentlichen konnten die Ergebnisse von Ludendorff und anderen bestätigt werden: die Zwerge (wie z. B. unsere Sonne) haben im ganzen die gleiche Masse, während die der Riesen höher ist: B-Stern zu Sonne an Leuchtkraft über 100 : 1 bis zu 10 000 : 1, an Masse 10—20 : 1.

Über die Interferenzversuche auf dem Mount Wilson ist hier schon mehrfach berichtet worden. Unter Leitung von Michelson und Pease wurde ein großer Apparat hierfür, 6 m lang, quer vor die Öffnung des 2.5-m-Reflektors gesetzt. Zur schärferen Beurteilung des Verschwindens der charakteristischen Interferenzstreifen wurde noch ein komplizierter Okularteil gebaut. Von drei Sternen, Beteigeuze, Antares und Arktur, konnten bisher die Durchmesser bestimmt werden zu  $0''.047$ ,  $0''.040$  und  $0''.022$ . Bei fünf anderen war offenbar die Meßbasis noch nicht groß genug, wenn sich auch schon die gewünschte Verminderung der Fransendeutlichkeit zeigte. Eine Reihe A-Sterne, deren Durchmesser noch weit unterhalb der jetzigen Meßmöglichkeit lag, dienten zur Prüfung der Justierung.

J. Hopmann, Bonn.

\* \* \*

In bezug auf neue physikalische Ergebnisse ist der Jahresbericht des Mount-Wilson-Observatoriums für 1921 nicht ganz so reichhaltig, wie sein Vorgänger für 1920. Im wesentlichen wird über Untersuchungen berichtet, welche noch in Vorbereitung oder noch nicht ganz abgeschlossen sind. Im übrigen wird das physikalische Programm des Observatoriums jetzt auf eine ganz neue, breite Basis gestellt, und zwar dadurch, daß das am Fuße des Mount Wilson in Pasadena gelegene Norman Bridge Laboratorium für Physik der California School of Technology, ebenso wie das dortige chemische Laboratorium zum großen Teil in den Dienst der speziellen Aufgaben der Astrophysik gestellt worden ist. Außerordentliche Geldmittel sind für diesen Zweck gestiftet worden.



Zum Direktor des Norman Bridge Laboratoriums ist R. A. Millikan ernannt worden. Ferner ist als theoretischer Physiker P. Epstein gewonnen worden, und zeitweilig hat H. A. Lorentz in Pasadena gewirkt. Das Ganze ist in amerikanisch großzügiger Weise ins Werk gesetzt. Es wird beabsichtigt, in dem physikalischen Laboratorium in erster Linie Untersuchungen über den Bau der Materie und über Strahlung anzustellen. Wöchentliche gemeinsame Kolloquien sollen enge wissenschaftliche Beziehungen zwischen Institut und Observatorium gewährleisten. (Es sei hier bemerkt, daß ein engeres Zusammenarbeiten zwischen Physik und Astrophysik auch bei uns durch die Berufung von W. Grotrian an das Astrophysikalische Observatorium bei Potsdam und die Einrichtung eines physikalischen Laboratoriums daselbst in die Wege geleitet worden ist.) Unter den Beobachtungen an der Sonne sind die Untersuchungen an den Sonnenflecken, sowohl bezüglich ihrer Verteilung auf beide Hemisphären, wie bezüglich ihres Rotationssinnes (mittels des Zeemann-Effektes), zu erwähnen. Die Sonnenflecken erstrecken sich vermutlich bis in beträchtliche Tiefen. Russel berechnet, daß sie bis in Gebiete von einer Temperatur von 10–20 000° reichen müssen, wenn man die tiefe Temperatur der Flecken als Folge einer Expansion ausbrechender Materie erklären will. Ein besonders interessantes Phänomen war der große Sonnenfleck im Mai 1921, der von schweren magnetischen Störungen auf der Erde begleitet war.

Russel hat, wie hier demnächst ausführlicher berichtet werden soll, die Theorie von Saha (vgl. den Bericht des Ref. Naturwissenschaften 9, 863, 1921) auf den Fall ausgedehnt, daß gleichzeitig mehrere Atomarten anwesend sind, und kommt zu einer Reihe wichtiger Resultate über die dadurch bewirkten Verschiebungen der Ionisationsgleichgewichte. Über die Untersuchungen Russels bezüglich des Auftretens von Rubidium auf der Sonne, die eine wertvolle Stütze der Theorie von Saha bilden, ist hier bereits berichtet worden (Naturwissenschaften 10, 240, 1922.) Nach Saha soll die Temperatur über den Sonnenfackeln höher sein, als auf der übrigen Sonnenoberfläche. In der Tat wird gefunden, daß das Spektrum dort der Spektralklasse F (Sonne = Go) entspricht. Die Magnesiumlinie 4481 ist endgültig als Funkenlinie erkannt. In bester Übereinstimmung mit Saha erscheint sie über den Fackeln verstärkt (starke Ionisation), über den Flächen stark geschwächt (geringe Ionisation). Siebenjährige Messungen der Sonnenrotation ergaben eine Äquatorialgeschwindigkeit von 1,93 km/sec mit sehr geringen Schwankungen. Anzeichen einer Veränderlichkeit dieses Wertes haben sich nicht gezeigt. Die Untersuchungen über die relativistische Rotverschiebung haben keinen wesentlichen Fortschritt zu verzeichnen. Die Cyanbande wird als für die Entscheidung ungeeignet abgelehnt. Die Untersuchungen über den Einfluß von Druck und Temperatur auf Spektrallinien werden aber jedenfalls die Lösung dieses Problems fördern. Pease hat die Messungen mit dem Michelson-Interferometer fortgesetzt und die Winkeldurchmesser weiterer Sterne, sowie die Abstände einiger Doppelterne gemessen. Auch sind neue Verbesserungen der Methode, auf früheren Vorschlägen Michelsons beruhend, erprobt worden. Ohne Zweifel ist der Astronomie mit dem Interferometer ein neues, außerordentlich wertvolles Instrument in die Hand gegeben worden.

Die in dem vorjährigen Bericht erwähnte Apparatur zur Messung der Lichtgeschwindigkeit ist in einigen Punkten verbessert worden. Messungen sind jedoch noch nicht angestellt worden. Geplant wird ein im einzelnen nicht näher beschriebener Versuch, welcher zwischen der Relativitätstheorie und der Theorie des ruhenden Äthers einerseits und der Führungstheorie des Äthers andererseits entscheiden soll, bei dem die durch einen halbdurchlässigen Spiegel getrennten Hälften eines Lichtstrahls eine Fläche in entgegengesetztem Sinne umlaufen und dann zur Interferenz gebracht werden sollen. Unter den Arbeiten im physikalischen Laboratorium des Observatoriums stehen spektrale Untersuchungen naturgemäß an der Spitze. Im elektrischen Ofen wurden 270 Emissionslinien des Magnesiums und 307 Emissionslinien des Scandiums aufgenommen. Das Eisenspektrum wurde im elektrischen Ofen in Emission und Absorption beobachtet, und zwar in einem größeren Temperaturintervall. Bei den Alkalien treten im elektrischen Ofen bei ausreichend hoher Temperatur auch die Nebenserien in Absorption auf. Die große Schärfe dieser Absorptionslinien ermöglicht sehr genaue Wellenlängenmessungen und verbesserte Termdarstellungen. Besondere Beachtung wurde wieder dem Zeemanneffekt geschenkt. Insbesondere wurden Messungen unter verschiedenen Richtungen gegen die Feldrichtung angestellt, da dies von besonderer Bedeutung für die Untersuchung der Feldverhältnisse in den Sonnenflecken ist. Neu aufgenommen wurden Untersuchungen über den Starkeffekt (der bekanntlich bislang auf der Sonne nicht beobachtet worden ist) und über den Einfluß kombinierter elektrischer und magnetischer Felder. Einwandfreie Ergebnisse liegen noch nicht vor. An 1026 Eisenlinien wurden im sog. Pfundbogen (der den bekanntlich zuerst von Goos beobachteten sog. Poleffekt zu vermeiden gestattet) Präzisionsmessungen ausgeführt und in den meisten Liniengruppen gute Übereinstimmung mit den Messungen des Bureau of Standards gefunden, wohingegen sich in einigen Fällen systematische Abweichungen ergaben. Ferner wurde die Druckverschiebung der Eisenlinien zwischen 0 und 1 Atmosphären in Luft mit dem Perot-Fabry-Interferometer untersucht. Messungen in anderen Gasen sollen folgen. Die Spektraluntersuchungen an elektrisch zerstäubten glühenden Drähten (Entladungsschlag einer Batterie) wurden fortgesetzt. Dabei wurde festgestellt, daß die Absorptionslinien der von dem zerstäubenden Drahte fortgeschleuderten Dämpfe eine Doppelverschiebung zeigen, welche bei den verschiedenen Serien verschieden stark ist. Es wird versucht, die Methode durch Anwendung von Entladungsspannungen bis zu 100 000 Volt zu verbessern, doch hat sich bislang die Konstruktion eines betriebssicheren Kondensators für so hohe Spannungen noch nicht ermöglichen lassen.

Die Verbesserungen, welche der Apparatebestand, die sonstigen Hilfsmittel und insbesondere die verschiedenen Werkstätten des Observatoriums erfahren haben, sind so bedeutend, daß sie auch nicht in valuta-schwachen Ländern Neid zu erregen geeignet sind. Der Bericht zeigt, daß auch auf dem Mount Wilson die Amerikaner die volle Konsequenz aus der Erkenntnis ziehen, daß der Institutsmechaniker und seine Werkstatt das Herz eines physikalischen Institutes sind, ohne dessen Arbeit die Tätigkeit des wissenschaftlichen Hirns lahmgelegt ist. W. Westphal.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von

ARNOLD BERLINER

Unter besonderer Mitwirkung von H. BRAUS in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1922 by Julius Springer in Berlin.

LIBRARY

RECEIVED

SEP 12 1922

Department of Agriculture

Heft 29. (Seite 621—646)

21. Juli 1922.

Zehnter Jahrgang

DEM ANDENKEN

AN

GREGOR MENDEL

ZUR JAHRHUNDERTFEIER

SEINES GEBURTSTAGES

Verlag von Julius Springer in Berlin W9

**Vererbung und Seelenleben.** Einführung in die psychiatrische Konstitutions- und Vererbungslehre. Von Dr. Hermann Hoffmann, Privatdozent an der Universitätsklinik für Gemüts- und Nervenkrankheiten in Tübingen. Mit 104 Textabbildungen und 2 Tabellen. (VI, 258 S.) 1922. Preis M. 186.—; gebunden M. 237.—

**Die individuelle Entwicklungskurve des Menschen.** Ein Problem der medizinischen Konstitutions- und Vererbungslehre. Von Privatdozent Dr. Hermann Hoffmann. Mit 8 Textabbildungen. Unter der Presse.

**Körperbau und Charakter.** Untersuchungen zum Konstitutionsproblem und zur Lehre von den Temperamenten. Von Dr. Ernst Kretschmer, Privatdozent für Psychiatrie und Neurologie in Tübingen. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 32 Textabbildungen. (VIII, 196 S.) 1922. Preis M. 84.—; in Ganzleinen gebunden M. 126.—

**Einführung in die allgemeine Konstitutions- und Vererbungs-pathologie.** Ein Lehrbuch für Studierende und Ärzte. Von Dr. Hermann Werner Siemens. Mit 80 Abbildungen und Stammbäumen im Text. (VIII, 230 S.) 1921. Preis M. 64.—\*

**Vorlesungen über allgemeine Konstitutions- und Vererbungslehre.** Für Studierende und Ärzte. Von Dr. Julius Bauer, Privatdozent für innere Medizin an der Wiener Universität. Mit 47 Textabbildungen. (IV, 186 S.) 1921. Preis M. 36.—\*

**Die konstitutionelle Disposition zu inneren Krankheiten.** Von Dr. Julius Bauer, Privatdozent für innere Medizin an der Wiener Universität. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 63 Textabbildungen. (XI, 650 S.) 1921. Preis M. 88.—\*; gebunden M. 104.—\*

**Konstellationspathologie und Erbllichkeit.** Von Dr. N. Ph. Tendeloo, Professor der allgemeinen Pathologie und der pathologischen Anatomie an der Reichsuniversität Leiden. (IV, 32 S.) 1921. Preis M. 8.60\*

**Konstitution und Vererbung in ihren Beziehungen zur Pathologie.** Von Professor Dr. Friedrich Martins, Geh. Med.-Rat, Direktor der Medizinischen Klinik an der Universität Rostock. Mit 13 Textabbildungen. (VIII, 260 S.) 1914. (Aus: Enzyklopädie der klinischen Medizin, Allgemeiner Teil). Preis M. 12.—\*

**Studien über Vererbung und Entstehung geistiger Störungen.** Herausgegeben von Ernst Rüdin in München. III. Zur Klinik und Vererbung der Huntingtonschen Chorea. Von Dr. Josef Lothar Entres, Oberarzt an der Heil- und Pflegeanstalt Egling. Mit 2 Tafeln, 1 Textabbildung und 18 Stammbäumen. (IV, 150 S.) 1921. („Monographien aus dem Gesamtgebiete der Neurologie und Psychiatrie“, Heft 27.) Preis M. 88.—\*

**Immunbiologie — Dispositions- und Konstitutionsforschung — Tuberkulose.** Von Dr. Hermann v. Hayek in Innsbruck. (IV, 38 S.) 1921. Preis M. 9.60\*

\* Hierzu Teuerungszuschlag







*Johann Menzel*



# DIE NATURWISSENSCHAFTEN

---

Zehnter Jahrgang.

21. Juli 1922.

Heft 29.

---

DEM ANDENKEN

AN

GREGOR MENDEL

ZUR JAHRHUNDERTFEIER

SEINES GEBURTSTAGES

## Inhalt:

|  | Seite |
|--|-------|
| Etwas über Gregor Mendels Leben und Wirken. Von <i>C. Correns, Berlin-Dahlem</i> . . .               | 623   |
| Zwei Jahrzehnte Mendelismus. Von <i>Richard Goldschmidt, Berlin-Dahlem</i> . . . . .                 | 631   |
| Mendelismus und Tierzucht. Von <i>Hans Nachtsheim, Berlin</i> . . . . .                              | 635   |
| Mendelforschung und menschliche Erblchkeitslehre. Von <i>Eugen Fischer, Freiburg i. Br.</i>          | 640   |
| Die Bedeutung der Mendelschen Gesetze für die Pflanzenzüchtung. Von <i>E. Baur, Berlin</i> . . . . . | 645   |



## Etwas über Gregor Mendels Leben und Wirken.

Von C. Correns, Berlin-Dahlem.

### I. Die drei Hauptepochen der Bastardforschung.

Wir können in der Geschichte der wissenschaftlichen Bastardforschung auf botanischem Gebiet — ihr gegenüber tritt die auf zoologischen, mit Ausnahme der allerjüngsten Zeit, sehr zurück — drei Hauptepochen unterscheiden, die freilich übereinander greifen. Für jede ist das Problem charakteristisch, das in ihr im Vordergrund des Interesses steht oder doch in erster Linie den Anstoß zu den Untersuchungen gibt.

Die erste Epoche beginnt 1760 mit *Koelreuters* Tabakbastarden. Ihm handelte es sich dabei zunächst darum, experimentell zu beweisen, daß auch die zwittrigen Blütenpflanzen sich geschlechtlich fortpflanzen. Schon der Titel seiner ersten Schrift aus dem Jahre 1761 „Vorläufige Nachricht von einigen das Geschlecht der Pflanzen betreffenden Versuchen und Beobachtungen“ lehrt das. Dadurch, daß der Bastard Merkmale beider Elternpflanzen in sich vereinte oder zwischen ihnen vermittelte, war bewiesen, daß weder die Pflanze, die den Fruchtknoten mit den Samenanlagen lieferte — die Eizelle wurde erst 80 Jahre später entdeckt —, noch jene, die den Blütenstaub hergibt, *allein* den Embryo bildet, sondern daß dazu beide zusammenwirken müssen. *Koelreuter* hat dann noch viele andere Bastarde hergestellt und beschrieben.

Merkwürdigerweise genügte dieser Beweis doch noch nicht; dem zweiten und dritten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts schien die Frage noch offen. Und so hat auch der nächste bedeutende Experimentator in Deutschland, *C. Fr. Gärtner*, seine Arbeit begonnen, um eine einschlägige Preisfrage der niederländischen Akademie zu lösen. Aus den ersten Versuchen wuchs in fünf- und zwanzigjähriger Arbeit sein umfangreiches, überaus gründliches, aber leider ebenso unübersichtliches und schwerfälliges Buch „über die Bastardzeugung“ hervor.

Als es 1845 erschien, war schon die zweite Epoche angebrochen, in der man sich in erster Linie um die Bedeutung der Bastarde für das Artproblem kümmerte. Schon *Th. Knight* hatte behauptet, daß Bastarde zwischen verschiedenen „*Spezies*“ immer steril, und solche zwischen „*Varietäten*“ fertil seien, zum Teil im Widerspruch mit *Herbert*, der damals in England auf diesem Gebiete die meisten Erfahrungen hatte. Damit schien ein Kriterium gefunden, um „*Species*“ und „*Varietäten*“ auseinanderzuhalten. Mit dieser Fragestellung arbeiteten dann verschiedene bedeutende Forscher, darunter beson-

ders französische (*Jordan, Godron, Naudin*), aber z. B. auch *E. Regel*, bis man zur Einsicht kam, daß auch so die — eben in der Natur nicht vorhandene — Grenze nicht zu finden sei.

Die dritte Periode, in der wir noch stehen, möchte ich dadurch kennzeichnen, daß in ihr die Übertragungsweise der Eigenschaften von Generation zu Generation im Vordergrund des Interesses steht. Die experimentelle Arbeit mit theoretischem Hintergrund beginnt erst in den 90er Jahren des verflossenen Jahrhunderts wieder lebhafter zu werden, als sich das Bedürfnis immer dringender gestaltete, die Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen *Darwins, Nägelis, Weismanns, O. Hertwigs, de Vries'* und anderer an der Hand neuer Experimente zu prüfen. Dabei stellte sich dann um die Jahrhundertwende heraus, daß schon 35 Jahre früher eine Arbeit geleistet worden war, auf die ein völlig neuer Aufbau der Vererbungslehre aufgerichtet werden mußte. Sie stammte von einem Mann, dessen Namen zwar nicht ganz vergessen war, dessen Bedeutung aber zu seinen Lebzeiten von den Besten seiner Zeitgenossen nicht erkannt, und dessen Veröffentlichung vergessen oder, soweit das nicht zutraf, unverstanden geblieben war: *Gregor Mendel*. Er gibt selbst als Ausgangspunkt seiner Versuche gärtnerische Zwecke und die auffallende Regelmäßigkeit an, mit welcher dieselben Hybridformen immer wiederkehrten, so oft die Befruchtung zwischen gleichen Arten geschah, also das Problem der Übertragung der elterlichen Eigenschaften.

### II. Das Leben Gregor Mendels.

Wir dürfen hoffen, daß zu dem hundertjährigen Geburtstag *Mendels* eine Biographie von Professor *H. Iltis* in Brunn erscheinen wird, die Frucht langjähriger Studien an der Wirkungsstelle des Gefeierten. Hier mögen über seinen Lebensgang einige Angaben folgen, die in der Hauptsache einer Gedenkrede (nicht im Buchhandel) seines Neffen, des Dr. med. *Alois Schindler*, entnommen sind. Für die Jugendzeit konnte er sich dabei auf die Erinnerungen seiner Mutter stützen, einer der beiden Schwestern *Mendels*.

*Johann Mendel* — den Namen *Gregor* hat er erst bei seinem Eintritt ins Kloster erhalten; bei dem stets der Vorname verändert wird — wurde am 22. Juli 1822<sup>1)</sup> als Sohn eines Landwirts in

<sup>1)</sup> Im Kirchenbuch von Petersdorf, wo Heinzen-  
dorf eingepfarrt war, steht der 20. Juli; *Mendel* selbst  
gab aber immer den 22. Juli (Magdalenentag) an.

Heinzendorf im „Kuhlande“, einem deutschen Teil des österreichischen Schlesiens, in der Gegend von Odrau, geboren. Die Familie läßt sich dort zwei Jahrhunderte, 8 Generationen, zurückverfolgen, und *Mendel* war fast mit der ganzen Gemeinde verwandt. Bis 1692 wurde der Name in den Kirchenbüchern aber *Mandel* geschrieben; seine Ableitung ist unsicher (von *Mandel* = 15 Stück, eher von „*Mandle*“ = Männchen?). Der Vater war ein stiller, arbeitsamer Mann, der sich für Obstbaumzucht interessierte und den einzigen Sohn früh zum Okulieren und Pfropfen in den Garten mitnahm. Der Hang zum Studieren stammte wohl von der Mutter; ihr Bruder war der erste, nicht amtlich angestellte Lehrer in Heinzendorf und hatte sich seine Kenntnisse durch Selbststudium angeeignet.

Nur unter großen finanziellen Schwierigkeiten ging *Johann Mendel*, dessen Begabung früh erkannt worden war, durch das Gymnasium in Troppau und für die letzten, „philosophischen“ Jahrgänge durch das in Olmütz, um sich — dem Wunsch seiner Mutter und wohl auch eigener Neigung folgend — dem geistlichen Stande zu widmen. Er trat 1843 als Novize in das Augustinerkloster St. Thomas in Brünn ein. Dies „Königskloster“, wie es gewöhnlich genannt wird, liegt mitten in Alt-Brünn als ein weitverzweigtes, einstöckiges Gebäude, inmitten von großen Gartenanlagen mit Gewächshäusern und Obstbaumschulen, ja sogar mit einem Wäldchen. Umgeschlossen von den hohen Klostermauern war es mit seiner friedlichen Stille eine ideale Stätte für das Studium. Hier wurde der in *Gregor* umgetaufte *Johann* ausgebildet und 1847 zum Priester geweiht. Er war dann zunächst in der Seelsorge tätig. Das Kloster hatte aber damals auch die Verpflichtung, eine gewisse Anzahl Mittelschulprofessoren zu stellen, und so konnte der Herzenswunsch *Mendels*, den Lehrerberuf auszuüben, in Erfüllung gehen: von 1851 bis 1853 durfte er, vom Kloster nach Wien geschickt, dort Naturwissenschaften studieren.

Zurückgekehrt, erhielt er zunächst eine Supplentur in Iglau und 1854 eine Lehrstelle für Physik und Naturwissenschaften an der deutschen Staatsoberrealschule in Brünn, die er vom Kloster aus versehen konnte. 14 Jahre lang hat er sie mit bestem Erfolg inne gehabt. Seine ausgezeichnete Lehrmethode, seine Gewissenhaftigkeit und Gerechtigkeit, gepaart mit Güte und Milde, machten ihn bei den Schülern sehr beliebt. „Er brauchte fast niemanden durchfallen zu lassen“, erzählt Herr Dr. A. Schindler. In diesen 14 Jahren hat *Mendel* die Versuche angestellt, bei denen er die nun nach ihm benannten Gesetzmäßigkeiten entdeckte.

Dieser stillen, bescheidenen und beschaulichen Lehr- und Forschertätigkeit machte der 30. März 1868 ein Ende, der Tag, an dem ihn das Vertrauen des Kapitels als Abt, „als lebenslänglichen Vorstand“ schreibt er selbst an C. Nägeli, an die

Spitze seines Stiftes stellte. Zwar spricht er in diesem Briefe die Hoffnung aus, den ihm so lieb gewordenen Bastardierungsversuchen sogar noch mehr Zeit und Aufmerksamkeit als bisher zuwenden zu können, sobald er sich nur erst in seine neue Stellung eingearbeitet habe. Es sollte aber anders kommen. Wir wissen aus den folgenden Briefen, daß er noch 1871 mit Pflanzen experimentiert hat; im Herbst 1873 klagt er aber schon, daß er seine Pflanzen und Bienen so gänzlich vernachlässigen müsse. Er hatte die Geschäftslast, die ihm sein Amt auferlegte, unterschätzt, dazu kamen weitere Ämter. So wurde er sogar vom Landtage an die Spitze der Mährischen Hypothekenbank gestellt. Vor allem aber wurde er von dem bald einsetzenden Kulturkampf schwer getroffen. Nicht daß er sich an ihm selbst irgendwie beteiligt hätte; es war eine seiner Folgeerscheinungen, die *Mendels* spätere Jahre immer mehr zerstörte.

*Gregor Mendel* hatte sich der deutsch-liberalen Verfassungspartei angeschlossen und als Vertreter des Klosters mit ihr gestimmt. Aber gerade diese Partei setzte im Jahre 1872 im österreichischen Reichsrat ein Gesetz durch, das die Klöster zu einer empfindlichen, besonderen Religionssteuer heranzog, die für das Königskloster im Jahr 5000 fl. ausmachte. *Mendel*, der dies Gesetz für ungerecht hielt, wehrte sich dagegen und zahlte die Steuer nicht. Im Anfang unterstützten ihn viele andere Klöster; nach und nach bröckelte aber eines nach dem anderen ab und schließlich stand *Mendel* ganz allein da und fuhr fort, die Regierung mit Protesten zu überhäufen. Allen Versprechungen und Drohungen gegenüber blieb er unzugänglich, und Gewalt wollte die Regierung schließlich gegen einen so verdienten Mann doch nicht anwenden; sie half sich durch Sequestration eines dem Kloster gehörigen Gutes. So verbrachte *Mendel* die letzten 12 Lebensjahre — er starb am 6. Januar 1884, also erst 62 Jahre alt, an morbus Brightii — in steigender Vereinigung und Verbitterung, die den früher so milden, ruhigen Mann der Außenwelt, nicht seinen Vertrauten gegenüber, ganz verwandelten.

Nach seinem Tode lenkte das Kloster sofort ein, aber nur wenige Jahre später ist das Religionsgesetz, freilich von einer anderen Volksvertretung und unter einem anderen Ministerium, aufgehoben worden.

### III. Die Arbeiten Gregor Mendels.

Von all den vielen Untersuchungen, die *Mendel* ausgeführt hat, ist nur ganz wenig und an schwer zugänglicher Stelle — in den Verhandlungen des Naturforschenden Vereins in Brünn — veröffentlicht worden. Wir haben von ihm zwei Mitteilungen über Bastarde. Die klassischen „Versuche“ über „Pflanzenhybriden“ vom Jahre 1866 und „über einige aus künstlicher Befruchtung gewonnene Hieracium-Bastarde“ vom Jahre 1870, endlich „die Windhose vom 13. Oktober



1870“ aus dem Jahr 1871. Seine meteorologischen Aufzeichnungen sind von anderen benutzt worden; die Notizen über die Bastardierungsversuche gingen verloren<sup>2)</sup>.

Erst durch die von mir veröffentlichten Briefe *Mendels* an *C. Nägeli*<sup>3)</sup> hat sich der ganze Umfang dieses Materiales deutlich gezeigt, und sind auch noch einige Tatsachen und Gedanken bekanntgeworden. So die durch Versuche mit *Melandrium* angeregte Frage, ob das Verhältnis 1 ♂ : 3 ♀ „ein bloßer Zufall sei oder dieselbe Bedeutung habe wie in der ersten Generation der Bastarde mit veränderlichen Nachkommen“. Die Briefe selbst sind in ihrem sorgfältigen, präzisen Stil und ihrer peinlich sauberen und gleichmäßig schönen Schrift ein gutes Abbild ihres Verfassers. Besonders zu bedauern ist der Verlust der Notizen über die Bastardierungsversuche mit *Bienen*, deren technische Schwierigkeiten *Mendel* mit sehr großer Mühe zu überwinden suchte. Ob ihm dabei schon die hohe theoretische Bedeutung der Drohnen als „personifizierte Haplonten“, als Keimzellen, die sich ohne Befruchtung weiter entwickeln, deutlich waren?

*Mendel* verdankt den Erfolg seiner Arbeit, die nach ihm genannten Vererbungsgesetze, neben seiner Veranlagung, sicher zu einem großen Teil der außerordentlich glücklichen Wahl des ersten Objektes für seine umfangreicheren Versuche, der *Erbse*. Diese Wahl, die nicht der Zufall, sondern die sorgfältigste Überlegung getroffen hatte, war aber auch durch seine Veranlagung bedingt. Infolge der fast ausnahmslos eintretenden Selbstbestäubung sind die verschiedenen Erbsensippen schon von vornherein sehr konstant, sie lassen sich leicht, auch in Töpfen, ziehen, die Blüten sind verhältnismäßig groß, vertragen das Kastrieren gut, sind leicht zu schützen und die Bastarde zwischen den verschiedenen Gartensippen sind völlig fruchtbar.

Ich sollte nun eigentlich den Inhalt der klassischen „Versuche über Pflanzenhybriden“ hier referieren, glaube aber darauf verzichten zu dürfen, da er heutzutage als Mendelsche „Regeln“ oder „Gesetze“ in allen biologischen Lehrbüchern dargestellt wird, so daß ich ihre Kenntnis wohl voraussetzen darf. Diese Sätze sind übrigens nicht von *Mendel* selbst formuliert, sondern erst bei der Wiederentdeckung aus den Tatsachen abgeleitet worden.

Es genügt vielleicht, wenn ich auf diese Hauptergebnisse kurz hinweise. Das Allerwichtigste

<sup>2)</sup> Die Abhandlungen über Bastarde sind von *E. Tschermak* in *Ostwalds* Klassikern herausgegeben worden, die erste auch von *Göbel* in der *Flora*, Ergänzungsband 1901; alle drei hat der Naturforschende Verein in Brünn 1911 in Band 49 der Verhandlungen (Festschrift gelegentlich der Enthüllung des Mendeldenkmales in Brünn am 2. Oktober 1910) wieder veröffentlicht.

<sup>3)</sup> Abhandl. d. K. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch., math.-phys. Kl. XXIX, III 1904.

ist zweifellos die Vorstellung, daß die einzelnen Merkmale, durch die sich die beiden Eltern eines Bastards unterscheiden, voneinander völlig unabhängig sind. (Vollkommene oder teilweise Kopelungen von Merkmalen kamen — zum Glück, darf man wohl sagen — bei den von *Mendel* studierten Merkmalen der Erbse nicht vor.) Im Bastard ohne zu verschmelzen vereinigt, trennen sie sich bei der Keimzellbildung voneinander und kombinieren sich in jeder beliebigen, vom Zufall bestimmten Weise neu. Die Merkmale zweier Eltern lassen sich, wie die Glassplitter und Perlen in einem Kaleidoskop, durcheinanderwürfeln, wobei neben neuen Bildern auch die Bilder der Eltern wieder herauskommen müssen. Das widersprach von Grund aus den Vorstellungen, die man damals und später hatte, nach denen das Bild einer Sippe etwas *einheitlich* Veranlagtes war.

Die verschiedenen Keimzellen werden in gleichen Zahlen gebildet. Hat — im einfachsten Fall, wenn sich die Eltern nur in einem Punkte unterscheiden — das eine Elter das Merkmal *A*, das andere das Merkmal *a* zum Bastard beige-steuert, so überträgt die Hälfte der männlichen und weiblichen Keimzellen das Merkmal *A*, die Hälfte das Merkmal *a*. Daraus ergibt sich, wenn der Zufall die Keimzellen zusammenbringt, alles Weitere.

Was das Aussehen der Bastarde anbetrifft, so hebt *Mendel* hervor, daß in jedem von den sieben studierten Unterscheidungspunkten der Bastard dem einen der beiden Elternmerkmale dem, das er dominierend nannte, entweder so vollkommen gleicht, daß das andere, rezessive, verschwindet oder doch ihm so ähnlich wird, daß eine sichere Unterscheidung nicht möglich ist. Daraus hat man zunächst eine Dominanz- oder besser Prävalenzregel abgeleitet und später ein Uniformitätsgesetz. *Mendel* selbst braucht in den Briefen schon das Wort „Uniformität“. Man hat dieses Gesetz neuerdings von den Mendelschen Gesetzen abtrennen wollen, weil es sich auf ein entwicklungsmechanisches Problem beziehe, ich sehe aber keinen rechten Grund dafür ein. Die Entwicklungsmechanik ist doch ein Teil der Vererbungslehre. Und daß es nicht überflüssig ist, weiß jeder, der die Laienvorstellungen über das Verhalten der elterlichen Merkmale kennt. Immer wieder hört man z. B. die irrige Ansicht, daß der Bastard zwischen einer weiß- und einer rotblühenden Pflanze rot und weiß gestreift blühen müsse.

Die zweite, sehr kurze Mitteilung berichtet über Bastarde zwischen *Arten* aus der Gattung *Hieracium* (Habichtskraut), die *Mendel*, im vollkommenen Gegensatz zu den Bastarden zwischen den Erbsensippen, in der ersten Generation (*F*<sub>1</sub>) vielförmig, in den folgenden Generationen konstant fand.

Auf die meteorologische Mitteilung über die Windhose vom 13. Oktober 1870 soll hier nicht eingegangen werden; ich kann nicht beurteilen,

ob sie mehr als eine sorgfältige Darstellung gründlicher Beobachtungen ist.

#### IV. Die Vorläufer Mendels.

Es interessiert natürlich, wie weit die Ergebnisse Mendels neu waren, und wieweit er Vorgänger gehabt hat.

Erbsen bastardierte haben vor Mendel verschiedene Forscher, vor allem Knight, J. Goss und C. Fr. Gärtner, und dabei natürlich schon einen Teil der Tatsachen, die wir bei Mendel finden, gesehen. Insbesondere J. Goss<sup>1)</sup> hat bei der Kreuzung einer gelbsamigen („white“) mit einer grünsamigen („blue“) Erbse das Dominieren von Gelb, das Auftreten gelber und grüner Samen in derselben Hülse und die Konstanz der aus den grünen Samen gezogenen Pflanzen gefunden, während die aus den gelben Samen gezogenen teils konstant waren, teils wieder gelbe und grüne Samen gaben.

Das Wesentliche an Mendels Entdeckung sind aber nicht die einzelnen Tatsachen, sondern ihre erklärende Verknüpfung und theoretische Auswertung. In diesem, mir allein richtig erscheinenden Sinne ist als Vorläufer — schon beinahe Mitläufer — vor allem Charles Naudin zu nennen mit seinen „Nouvelles Recherches sur l'hybridité“, die er im Dezember 1861 der Pariser Akademie überreichte, als Beantwortung einer im Januar 1860 gestellten Preisfrage. Erschienen sind sie erst 1863<sup>2)</sup>, also zu einer Zeit, wo Mendel schon jahrelang an der Arbeit und wohl auch schon mit seinen Schlüssen fertig war. Mendel wußte auch offenbar zur Zeit seiner Veröffentlichung nichts von Naudin, später kannte er die „Nouvelles Recherches“, wie aus dem Briefwechsel mit Nägeli hervorgeht. Er wollte auch *Linaria purpurea* + *vulgaris*, eines der Hauptbeispiele Naudins für einen Bastard mit vielformiger Nachkommenschaft, untersuchen, erhielt aber statt der *L. purpurea* die *L. striata*.

Für Naudin stand die Frage, ob sich Artbastarde („hybrides“) und Varietätenbastarde („métis“) an ihrem Verhalten unterscheiden ließen und so ein Kriterium in der Speziesfrage bilden könnten, im Vordergrund. Seine Preisschrift ist denn auch eine der wichtigsten Arbeiten der zweiten der eingangs unterschiedenen Epochen der Bastardforschung. Naudin theoretisiert aber auch über die Rückkehr der Nachkommenschaft der Bastarde zu ihren Eltern, die er unter anderm bei Stechapfel- und Petunienbastarden und bei dem Artbastard zwischen der violett blühenden *Linaria purpurea* und der gelbblühenden *Linaria vulgaris* beobachtet und ge-

nauer untersucht hatte. Solche Tatsachen waren den vorangehenden Forschern, z. B. C. Fr. Gärtner, nicht unbekannt geblieben; neu ist bei Naudin ihre theoretische Auswertung. Naudin sucht das Verhalten durch die Trennung der beiden spezifischen Stoffe (disjonction des deux essences spécifiques) der Eltern in den Pollenkörnern und den Samenanlagen (ovules) des Bastardes zu erklären. Im Bastard sind zwei verschiedene Stoffe vereinigt (deux essences différentes, ayant chacune leur mode de végétation et leur finalité particulière), die sich wechselseitig bekämpfen und sich fortwährend voneinander zu trennen suchen. Im Embryo und in den ersten Entwicklungsstadien mögen beide auch in den kleinsten Teilchen des Bastardes (parcelle si petite, si divisée, qu'on la suppose) enthalten sein. Im ausgewachsenen Zustand stellt der Bastard aber ein Mosaik von Teilchen dar, von denen jedes einheitlich entweder der einen oder der anderen Eltern-Art angehört, „unisécifique“ ist, und zwar sind beide Sorten gleich oder ungleich häufig. Zunächst für das Auge ununterscheidbar, gruppieren sie sich nach ihren Affinitäten, in dem Gleichen mit Gleichem sich vereint, zu größeren Massen, die auch dem Auge sichtbar werden können, so daß ein ganz grobes Mosaik entstehen kann. Als Beispiel wird unter anderem der *Cytisus Adami* und die Bizzarien der Orangen und Zitronen angeführt, deren wahre Natur damals und bis zur jüngsten Zeit ja unbekannt war.

Ein anderes, in die Literatur übergegangenes Beispiel beruht auf einem Irrtum; die weiß- und rotgestreift blühende *Mirabilis Jalapa*, die Naudin für einen Bastard der weißblühenden *M. longiflora* und einer rotblühenden *M. Jalapa* gehalten hat, ist, wie die Abbildung zeigt, reine *M. Jalapa albarubrostriata* gewesen.

Die Tendenz zur Trennung nimmt nach Naudin, wie wir sahen, mit dem Alter zu, um schließlich bei Pollenkörnern und Samenanlagen den höchsten Grad zu erreichen. Ein Teil der Pollenkörner des Bastardes entspricht dann ganz denen der Vaterpflanze, ein Teil denen der Mutterpflanze, bei wieder anderen ist die Trennung überhaupt nicht eingetreten oder noch unvollständig. Bei den Samenanlagen ist ganz das Gleiche der Fall. Man versteht nun, wie durch Zusammenkommen der richtigen Pollenkörner und Samenanlagen eine durchaus „legitime“ Befruchtung zustande kommen, und eine Pflanze entstehen kann, die durchaus zu dem einen oder anderen Elter zurückgekehrt ist. Ebenso leicht ist es zu verstehen, daß wieder eine wahre „fécondation croisée“ eintreten kann. So wird der in der Mitte stehende Bastard, „une forme intermédiaire“, aufs neue entstehen und es können sich weitere Zwischenstufen bilden, z. B. eine „hybride quarteron“ aus der Vereinigung einer „nicht getrennten“ Samenanlage mit einem „getrennten“ Pollenkorn. Kurz „der Zufall ent-

<sup>1)</sup> „On the Variation in the Colour of Peas, occasioned by Cross Impregnation.“ In a Letter to the Secretary. By John Goss. Horticultural Society's Transactions, 1822, S. 234. Wiederabgedruckt in A. D. Darbishire, Breeding and the Mendelian Discovery, 1911, S. 199.

<sup>2)</sup> In den Nouvelles Archives du Muséum, tome I.



scheidet allein die Formenmenge, die wir von der zweiten Generation des Bastardes ab bei den hybriden Linarien und Petunien entstehen sehen.“

Ich habe über *Naudin's* Ansichten so ausführlich referiert, damit man sein Verhältnis zu *Mendel* besser beurteilen kann. Wir sehen *Naudin's* „hérédité en mosaïque“ bezieht sich auf dieselben Tatsachen, die *Mendel* wenige Jahre später völlig aufgeklärt hat. Die „vegetative Spaltung“ der Bastarde lieferte ihm das Bild, sich eine generative bei der Keimzellbildung vorzustellen, welch' letztere freilich mit der ersteren vielleicht gar nichts zu tun hat. Er war auf dem besten Wege, zu demselben Ziel zu gelangen wie *Mendel*. Daß er nicht soweit kam, liegt an der Vorstellung einer einheitlichen „essence spécifique“, die, wie wir heute sagen würden, als etwas Einheitliches den ganzen Genotypus des Elters repräsentiert. Die Möglichkeit, von ihr abzukommen, hatten schon Untersuchungen von *Sageret*<sup>6)</sup>, einem Landsmanne *Naudin's*, gegeben. Denn dieser hatte, speziell bei den Melonen, gefunden, daß die Ähnlichkeit des Bastardes mit seinen beiden Eltern nicht auf einer engen Verschmelzung der verschiedenen Eigenschaften beruht, sondern mehr auf einer Verteilung der ganzen Merkmale, die bei Individuen, die dieselben Eltern haben, sehr ungleich ausfallen kann. Der eine Bastard kann in Punkt 1 wie das Elter A, in Punkt 2 wie das Elter B aussehen, während das andere Exemplar desselben Bastards umgekehrt in Punkt 1 das Elter B, in Punkt 2 das Elter A sein kann. *Sageret* arbeitete mit Eltern, die selbst schon inkonstante Bastarde waren, mit Heterozygoten, und kam so zu der Vorstellung einer verschiedenen Kombination der Merkmale und somit zu der ihrer Kombinierbarkeit überhaupt. Insoweit können wir auch *Sageret* als einen Vorläufer *Mendels* ansehen.

Solche Neukombinationen; z. B. eine konstante Sippe AA BB, entstanden aus den Eltern AA bb und aa BB, konnte *Naudin* vor allem mit seiner Theorie nicht erklären. Und dann fehlt auch die saubere Spaltung, die *Mendel* aus den Zahlenverhältnissen ableiten konnte, auf die *Naudin* nicht einging. Der Preisfrage entsprechend beschäftigte sich *Naudin* besonders mit Bastarden zwischen guten Arten und verfolgte gerade die einfachsten nicht eingehend genug. Dahin gehört z. B. der zwischen den zwei Stechapfelsippen, *Datura Tatula* und *D. Stramonium*, die sich nur durch das Vorhandensein (*Tatula*) oder Fehlen (*Stramonium*) des violetten Farbstoffes (Anthocyan) in Blüten und Stengeln unterscheiden, aber als „Arten“ galten, weil *Linné* sie einmal so angesehen hatte. *Naudin*, der ihr gegenseitiges Verhalten richtig erkannte, sah *Tatula* im Bastard dominieren, und in der zweiten Generation wieder die Eltern auftreten, und zwar

sehr viel mehr *Tatula* als *Stramonium*, ohne damit mehr anzufangen.

#### V. Das Schicksal der Hauptarbeit Mendels.

Immer wieder wird die Frage aufgeworfen werden, warum *Mendels* grundlegende Abhandlung bei ihrem Erscheinen so gut wie unbeachtet blieb und es weitere 35 Jahre bleiben konnte.

Gewiß ist der Ort der Veröffentlichung mit daran schuld. Wenn auch, wie *Illis* angibt, die Verhandlungen des Naturforschenden Vereins in Brünn auf dem Tauschwege in die Bibliotheken von 120 anderen Vereinen mit ähnlichen Tendenzen gekommen sind — eine Arbeit, die nicht sofort genügende Beachtung findet, und deren Inhalt nicht gleich in die Literatur aufgenommen wird, ist natürlich an einem solchen Publikationsort vergraben, viel mehr, als wenn sie in einer Fachzeitschrift oder selbständig erschienen wäre.

Auch an der Form der Veröffentlichung mag es etwas gelegen haben. Gewiß ist sie in ihrer Klarheit und Prägnanz mustergültig. Aber *Nägeli* hat doch wohl mit einer gewissen Berechtigung an *Mendel* geschrieben, die übersandte Arbeit sei wohl nur der Vorläufer einer ausführlicheren mit allen Details der Versuche. Denn es ist nicht zu vergessen, wie völlig neu besonders seine Anschauung über das Zustandekommen des Gesamtbildes eines Individuums aus lauter selbständig vererbten Einzelzügen war. In einem solchen Falle, wenn die Ergebnisse derart im Gegensatz zu den Vorstellungen der Zeit standen, wäre eine wiederholte, ausführliche Darstellung gewiß nicht überflüssig gewesen, besonders wenn *Mendel* auch noch bestätigendes Material von anderen Pflanzen vorgelegt hätte. Imstande dazu wäre er gewesen. Wenn wir auch, vor allem durch die Briefe an *Nägeli*, wissen, daß er sehr zahlreiche Artbastarde (zwischen Arten von *Aquilegia*, *Cirsium*, *Geum*, *Linaria* usw.) gezogen hat, die für die Bestätigung der bei den Erbsen gefundenen einfachen Ergebnisse sicher im allgemeinen ungünstig waren, so hätte sich z. B. ein Teil der Versuche mit Levkojen, mit Mais und *Mirabilis* dazu geeignet. Schrieb doch *Mendel* 1870, daß sich diese Bastarde genau so wie jene zwischen Erbsensippen verhielten. Sicher wissen wir aber nur aus der Hauptarbeit einen Punkt, in dem er über das, was wir jetzt „Mendeln“ nennen, hinausgekommen ist, in dem er die Blütenfarbe bei der Feuerbohne aus zwei oder mehreren ganz selbständigen Farben zusammengesetzt sein läßt, die sich einzeln ganz ebenso verhalten, wie jedes andere konstante Merkmal an der Pflanze.

Warum hat wohl *Mendel* nicht mehr veröffentlicht?

Wahrscheinlich haben die Ergebnisse der Bastardierungsversuche mit *Hieracium*arten, die den bei den Erbsen erhaltenen diametral entgegengesetzt ausgefallen waren — Vielförmigkeit in der ersten, Konstanz in den folgenden Gene-

<sup>6)</sup> Ann. d. Sciences naturelles, t. VIII, 1826.

rationen. —, *Mendel* selbst davon abgehalten, dem bei den Erbsen gefundenen Verhalten jene allgemeine Gültigkeit zuzuschreiben, die wir jetzt annehmen, und mit allem Nachdruck dafür einzutreten. Mit dem Ausfall der *Hieracium*-Bastardierungen stimmten ja auch die Literaturangaben, so die von *Wichura* für Weiden, überein. Zudem machten ihm auch die komplizierteren Spaltungserscheinungen Schwierigkeiten. Mit den Farben der Levkojen ist er offenbar nie ganz ins Reine gekommen; die in Aussicht gestellte briefliche Darstellung der Ergebnisse für *Nägeli* ist unterblieben.

Bei seinen Bastardstudien hat *Mendel* vielleicht das gleiche Schicksal gehabt, wie fast hundert Jahre vor ihm *Koelreuter*, der nach den ersten, theoretisch voll ausgewerteten Versuchen immer sparsamer mit allgemeinen Ergebnissen wird und sich schließlich auf eine reine Beschreibung der erzielten Bastarde, ohne jede theoretische Verarbeitung beschränkt. Damit hätte sich *Mendel* nicht zufrieden gegeben; er wollte die Ergebnisse, z. B. für die Levkojen, so sicher haben und so klar und scharf formulieren, wie es ihm bei den Erbsenbastarden gelungen war. Dies ungleich viel schwierigere Ziel — es hat vierzig Jahre später bei viel weiter fortgeschrittenen physiologischen Kenntnissen wohl noch genug Arbeit gekostet — hat er in keiner ihn befriedigenden Weise erreicht, und so unterblieben weitere Publikationen.

Wir hören, daß *Mendel* sich bis zuletzt intensiv mit meteorologischen Beobachtungen beschäftigt hat, deren Beginn bis in die erfolgreichen Jahre seiner Bastardierungen zurückreicht. Die letzten eigenhändigen Eintragungen in sein Journal gehen bis zum 31. Dezember 1883, also bis sechs Tage vor seinem Tode. Er hat, angeregt durch *Pettenkofer's* Untersuchungen, im Konventsbrunnen des Stiftes 16 Jahre lang den Stand des Grundwassers gemessen. Auch astronomische Beobachtungen am eigenen Fernrohr beschäftigten ihn in der späteren Zeit. Daß er seine Mußzeit auf diese Dinge und Gebiete verwandte, auf denen er doch wohl nur als Dilettant arbeiten konnte, zeigt, daß er nicht allein aus Zeitmangel nichts mehr über seine Vererbungsversuche veröffentlichte. An diesem Sich-Abwenden war nach *Mendels* ganzer Veranlagung nicht die mangelnde äußere Anerkennung schuld, sondern eher eine Ermüdung im Ringen mit den immer komplizierter werdenden Problemen, wobei die Aufregungen seines Kampfes mit der Regierung mitwirkten, die ihn immer weniger zur inneren Ruhe und Sammlung kommen ließen.

Doch kehren wir von der Frage, warum *Mendel* nicht mehr veröffentlicht hat, zu der anderen zurück, warum das Veröffentlichte so wenig gewirkt hat.

Wir wissen, daß mehrere Gelehrte von der grundlegenden Abhandlung Kenntnis hatten. So *A. von Kerner* (nach einer Bemerkung *Kron-*

*felds*) und *C. Nägeli*, ohne sie in ihrer Bedeutung zu erkennen und auszunutzen. *Kerner*, der seine Aufmerksamkeit vor allem auf die Frage der Artbildung aus Bastarden gerichtet hatte, schienen vielleicht die Ergebnisse nicht tragfähig, weil sie an *Gartenrassen* gewonnen worden waren. *C. Nägeli* wäre, seiner ganzen Veranlagung nach, wie kein zweiter Zeitgenosse *Mendels* dazu berufen gewesen, die neuen Tatsachen zu würdigen und auf ihnen weiter zu bauen. Kurz vor dem Erscheinen der ersten Arbeit *Mendels* hatte er sich die Mühe genommen, zum ersten Mal aus den vorliegenden Beobachtungen, vor allem denen *Koelreuters* und *Gärtners*, allgemeine Schlüsse zu ziehen, und hatte der Akademie in München drei Abhandlungen darüber vorgelegt (15. Dez. 1865: Die Bastardbildung im Pflanzenreich, 13. Jan. 1866: Über die abgeleiteten Pflanzenbastarde, und am gleichen Tag: Die Theorie der Bastardbildung; zusammen abgedruckt im zweiten Bande der Botanischen Mitteilungen). Bis zu *Fockes* „Pflanzenmischlingen“ und darüber hinaus sind sie die Quelle für die Darstellung der Pflanzenbastarde in den Lehrbüchern geblieben. Das allgemeine theoretische Interesse war also bei ihm vorhanden, und seine Geistesrichtung, wie bei *Mendel*, auf eine scharfe, womöglich mathematische Formulierung des Gefundenen eingestellt. *Nägeli* hat auch *Mendels Hieracium*-versuche mit Material und Ratschlägen zu fördern gesucht, wie wir aus seinen Briefen wissen. Warum hat er, nach einem schwachen Anlauf (er hat 1867 eine Anzahl Erbsenproben, die ihm *Mendel* gesandt hatte, aussäen lassen), die Anregung liegen lassen, die er durch die Hauptarbeit empfangen hatte?

Offenbar zum Teil eben auch, weil die *Hieracium*-bastarde sich so ganz anders verhielten als die Erbsenbastarde, und *Nägeli's* Interesse in erster Linie auf die Artbildungsfrage gerichtet war. Für diese schien ihm die Gattung *Hieracium*, diese systematisch schwierigste aller Blütenpflanzengattungen, besonders wichtig. Er hatte sich seit seiner Studienzeit mit ihr beschäftigt — schon 1846 war eine Untersuchung über die Untergattung *Pilosella* erschienen —, und um 1865 herum war sein Interesse daran wieder besonders stark geworden. Kein Wunder, daß ihn die *Hieracium*-bastarde *Mendels* mehr als die Erbsenbastarde fesselten.

Es war ein besonderes Mißgeschick, das *Mendel* (und *Nägeli*) sich so intensiv mit dieser Gattung beschäftigen ließ. So überaus glücklich der erste Griff *Mendels* bei den Erbsen war, so unglücklich war der zweite. Wir wissen ja jetzt durch die Untersuchungen *Raunkiaers* und *Ostenfelds* (die aber erst drei Jahre nach der Wiederentdeckung *Mendels* erschienen?), warum *Mendel* die Nach-

<sup>7)</sup> *Kastrerings forsøjg med Hieracium og andre Cichoriceae.* Botanisk Tidsskrift, 25. Band, 3 Hefte, 1903, und: Zur Kenntnis der Apogamie in der Gattung *Hieracium*. Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch. Bd. XXII.



kommenschaft seiner Bastarde hier völlig konstant fand: Die Sämlinge entstanden auf ungeschlechtlichem Wege aus Eizellen, die die Reduktionsteilung nicht durchgemacht hatten, und verhielten sich deshalb wie Ableger, die die Mutterpflanze genau wieder hervorbringen. Der Blütenstaub bleibt dabei tauglich. Manche Arten sind durchgängig apogam; bei diesen blieben alle Bemühungen Mendels, sie mit dem Pollen fremder Arten zu befruchten, selbstverständlich ergebnislos. Andere bringen neben apogamen Eizellen auch befruchtungsfähige hervor. Hier konnte Mendel, freilich nur mit außerordentlicher Mühe und indem er sich die Augen fast verdarb, einige Bastarde erhalten. Wieder andere sind ganz normal, so das von Mendel verwendete *Hieracium Auricula*, seine „beste“ Versuchspflanze. Da es, soweit meine Erfahrungen reichen, selbststeril ist, hätte Mendel hier die Blütchen gar nicht zu kastrieren gebraucht; er hat dadurch wohl nur die Zahl der gelingenden Bastardierungen herabgesetzt. Bei den so mühselig erzielten Bastarden trat dann, wenn Mendel Selbstbefruchtung und Spalten erwartete, apogame Embryobildung und damit eine konstante Nachkommenschaft auf.

Daß Mendel (und Nägeli) nicht an eine ungeschlechtliche Entstehung der Sämlinge dachten, kann uns nicht wundernehmen. Einmal war damals Apogamie, als „Parthenogenese“, wenigstens bei Blütenpflanzen nur in Einzelfällen und für getrenntgeschlechtige Arten angegeben, und diese Fälle wurden, zum Teil mit Recht, auf ihre Richtigkeit bestritten. Vor allem aber mußten bei der Kleinheit und dem Bau der Blütchen, die in einem Blütenköpfchen des Habichtskrautes zusammengedrängt stehen, immer alle Versuche, durch Entfernung der Antheren zu kastrieren — wie es Mendel getan hat —, unsicher erscheinen. Raunkiaer und Ostfeld haben denn auch auf die Kastration in gewöhnlicher Weise ganz verzichtet und die Köpfchen vor dem Aufblühen einfach mit dem Rasiermesser so durchgeschnitten, daß der obere Teil der Griffel mit den Narben und die Antheren auf einmal allen Blüten weggenommen wurden. So behandelte Köpfchen setzten dann trotz der Schwere des Eingriffes gut an. Bei einem größeren, leichter zu behandelnden Objekt hätte Mendel das Mißlingen der Versuche gewiß nicht immer wieder auf Kastrationsfehler geschoben.

Der Hauptgrund für die Wirkungslosigkeit von Mendels Arbeit bei Nägeli und den übrigen Forschern, die sich gleichzeitig für solche Fragen interessierten, lag aber, wie schon bemerkt, wohl an der völligen Neuheit der Vorstellung, daß nicht das Gesamtbild des Individuums, sondern seine Einzelzüge getrennt vererbt würden. Das geht aus den Notizen, die sich Nägeli über sein erstes (Antwort-) Schreiben an Mendel gemacht hat, klar hervor. Und als er dann fast 20 Jahre später (1884) selbst in der „mechanisch-physiologischen Theorie der Abstammungslehre“, vor De

Vries' Pangenesis, die Ansicht vertrat, daß die Vererbung nicht durch Repräsentanten der einzelnen Zellen, wie es die Pangene Darwins waren, sondern durch Repräsentanten der einzelnen Eigenschaften im Idioplasma erfolge, war ihm der Inhalt von Mendels Erbsenarbeit offenbar wieder völlig aus dem Gedächtnis verschwunden. Er hätte sich sonst dieses ausgezeichnete Beweismaterial nicht entgehen lassen.

Nebenher mögen wohl auch die gelehrten Herren in Mendel etwas den Dilettanten gesehen und ihn deshalb nicht ernst genug genommen haben. Von ihrem Standpunkt aus nicht so ganz mit Unrecht. Es soll nicht verschwiegen werden, daß sich in der sonst klassischen ersten Abhandlung ein morphologischer Irrtum findet, der auch entwicklungsphysiologische Konsequenzen hat und auch damals nicht hätte vorkommen dürfen<sup>8)</sup>. Uns stört das bei der Bedeutung der Arbeit nicht mehr.

## VI. Die Wiederentdeckung der Mendelschen Gesetze.

Über die experimentelle Arbeit in der Zeit nach Mendel, die an Theorien so fruchtbar war, können wir hinweggehen. Außer vorzüglicher praktischer Züchterarbeit hat sie nur in A. Milardet und F. Hildebrand Experimentatoren größeren Stiles hervorgebracht. Besonders letzterer machte sich durch die Heranziehung auch der anatomischen Merkmale verdient, untersuchte aber fast immer nur die erste Bastardgeneration.

Erst zu Anfang der 90er Jahre zeigte sich wieder ein Anlauf, das, was Mendel gefunden hatte, aufs neue zu entdecken, diesmal bei einem Zoologen. 1893 berichtete W. Haacke in seinem Buche „Gestaltung und Vererbung“ auch über das Endergebnis umfangreicher Bastardierungsversuche mit gescheckten japanischen Tanzmäusen und normalen weißen Mäusen, freilich sehr summarisch und ohne Zahlenangaben. Wir wissen jetzt, vor allem durch Darbishire, daß es sich um mendelnde Eigenschaften handelt. Er erklärt die Tatsachen, offenbar ohne Kenntnis Mendels, so, daß sich bei der Keimzellbildung, während der Reduktionsteilung, die beiden verschiedenen „Plasmen“  $P$  und  $P'$ , die bei der Bastardbefruchtung zusammengekommen waren, wieder voneinander trennen und in verschiedene Keimzellen gehen, und ebenso, davon ganz unabhängig, die beiden „Kernstoffe“  $K$  und  $K'$ . Die Färbung der Mäuse ist an die Kernstoffe gebunden:  $K$  gescheckt,  $K'$  weiß, die übrigen Eigenschaften, darunter die des Tanzens ( $P$ ) und des Nichttanzens ( $P'$ ) an das Plasma. Jedes Bastardmännchen und -weibchen bildet nach Haacke viererlei Keimzellen:  $PK$ ,  $PK'$ ,  $P'K$ ,  $P'K'$ , so daß in der nächsten Generation neunerlei Individuen:

<sup>8)</sup> Mendel spricht vom „Albumen“ der Erbsensamen, also einem außerhalb des Embryos liegenden (bei der Erbse fehlenden) Nährgewebe, wo er von den Keimblättern des Embryo selbst hätte reden sollen.

*PP, KK; PP, KK'; PP, K'K'* usw. entstehen. „Die Trennung ist, wie es scheint, in manchen Fällen eine völlige, so daß die Plasmen und die Kernstoffe, abgesehen von den mehr oder minder weitgehenden, aber niemals vollkommenen Ausgleichungen ihrer Eigenschaften, ebenso rein aus der Vereinigung hervorgehen, als sie in diese hineingegangen sind.“

Man sieht, für diesen Fall hat *Haacke* fast ganz das Mendelschema für zwei Merkmalspaare aufgestellt. Er ist jedenfalls *Mendel* am nächsten gekommen, noch näher als *Naudin*, hat sich aber dadurch, daß er die Anlagen für die einen Merkmale in den Kern, die für die anderen in das Plasma verlegte und Kern und Plasma als Einheiten auffaßte, die Möglichkeit einer Verallgemeinerung abgeschnitten. Das Verhalten des Bastardes, dessen Eltern sich in einem Punkt unterscheiden, läßt sich natürlich gut erklären; die Eltern stimmen im Plasma oder im Kernstoff überein. Schon drei voneinander unabhängige Merkmalspaare fügen sich aber nicht. Die Auffassung *Haackes* hängt mit seiner „Gemmarien“-lehre zusammen; diese Gemmarien, die Individuen, die das Eioplasma aufbauen und selbst sich wieder aus „Gemma“ zusammensetzen, zeigen nach ihm ein festes Gefüge. Ein Kompromiß mit den Anschauungen *Weismanns*, gegen die das ganze Buch gerichtet ist, hätte *Haacke* weiter geführt.

Zu Anfang des Jahres 1900 erschienen endlich kurz hintereinander aus den Federn dreier Botaniker Arbeiten, die eine experimentelle Bestätigung der vergessenen Beobachtungen *Mendels*, gleich mit Hinweis auf ihn, brachten. Zuerst kam *H. De Vries* mit einer Mitteilung in den Berichten der Deutschen Botanischen Gesellschaft „Das Spaltungsgesetz der Bastarde“, eingegangen am 14. März, und einer zweiten an die Akademie in Paris gerichtetes vom 26. März „Sur la loi de disjonction des Hybrides“. Diese zweite erschien etwas vor der ersten und veranlaßte mich, ebenfalls der Deutschen Botanischen Gesellschaft über meine einschlägigen Versuche zu berichten: „Gregor Mendels Regel über das Verhalten der Nachkommenschaft der Rassenbastarde“, eingegangen am 24. April, nachdem ich schon in meinem vorläufigen Bericht über die Xenien bei *Zea Mays* an der gleichen Stelle (22. Dez. 1899) mitgeteilt hatte, daß ich bei den Bastarden zwischen Maisrassen „sehr interessante, aber auch sehr komplizierte Verhältnisse“ gefunden hätte. Für die Junisitzung der Deutschen Botanischen Gesellschaft sandte dann als Dritter *E. Tschermak* eine Mitteilung „Über künstliche Kreuzung bei *Pisum sativum*“ ein (eingegangen 2. Juni).

Das Zusammentreffen der drei Arbeiten in einer kurzen Spanne Zeit ist wohl nicht so merkwürdig, wie es auf den ersten Blick erscheint. Wie ich schon eingangs gesagt habe, waren allmählich neue experimentelle Vererbungs- und Bastardierungsversuche zu einem dringenden Bedürfnis geworden, um die Ergebnisse der theo-

retischen Arbeit so vieler hervorragender Forscher im letzten Drittel des Jahrhunderts nachzuprüfen. Kein Wunder, daß sie von mehreren Seiten her und ganz unabhängig voneinander in Angriff genommen wurden. Und die erste Veröffentlichung zog dann die andern nach sich, jeder gab, wieviel er damals hatte. Auch die selbständige Auffindung der Gesetze selbst war damals bei weitem nicht mehr die Leistung, die sie zu *Mendels* Zeit war; die theoretische Arbeit so vieler Forscher und die zytologischen Untersuchungen *Hertwigs*, *Strasburgers* und anderer hatten sie inzwischen außerordentlich erleichtert. Ich erinnere nur an die Vorgänge bei der Befruchtung, an die gewöhnliche Kernteilung und die Reduktionsteilung, alles Dinge, von denen *Mendel* noch keine Ahnung haben konnte.

Ich war durch Versuche über die Xenienbildung auf das Verhalten der Bastarde bei Mais- und Erbsenrassen aufmerksam geworden. Die Untersuchungen konnten aber nur langsam, gewissermaßen als Allotria, durch Jahre neben anderen Arbeiten fortgeführt werden, so daß ich schon in der ersten Mitteilung für *Pisum sativum* einen Stammbaum bis zur vierten Bastardgeneration einschließlich vorlegen konnte. Ich war bald auf das Auszählen und dann auch auf die richtige Erklärung gekommen; erst als ich die Literatur durchsah, fand ich, daß meine Ergebnisse nicht neu waren. *Focke* sagt bei *Pisum* in seinen „Pflanzenmischlingen“ (1881) nämlich, daß *Mendels* zahlreiche Erbsenkreuzungen Resultate ergaben, die denen *Knights* ganz ähnlich waren, „doch glaubte *Mendel* konstante Zahlenverhältnisse zwischen den Typen der Mischlinge zu finden“. Und *De Vries* und *Tschermak* ist es nicht anders gegangen; *De Vries* speziell hat im Vortrag, den er am 11. Juli 1899 auf der ersten „Hybrid-Conference“ in London über „Hybridising of Monstrosities“ hielt (und der erst im April 1900 erschien)<sup>2)</sup>, den Bastard zwischen dem kahlen *Melandrium album glabrum* (*M. Preslii* Opiz) und der typisch behaarten Sippe des *Melandrium rubrum*, der hinsichtlich der Behaarung typisch mendelt, noch ganz ohne die präzise Mendelsche Formulierung beschrieben.

Die drei oben genannten Arbeiten können hier nicht im einzelnen analysiert und kritisiert werden. Meine eigene krankt daran, daß ich, wie schon ihr Titel zeigt, die Regeln auf die Rassenbastarde beschränkte. Es geschah das natürlich unter dem Eindruck der mir damals schon bekannten Ergebnisse von *Mendels* Bastardierungsversuchen mit Habichtskrautarten, die damals ja noch nicht aufgeklärt waren.

1900 war die Zeit für *Mendel* gekommen, mehr, als er selbst ahnen konnte, wenn er sich auch des Wertes seiner Versuche bewußt war und an ihre Zukunft glaubte. Freilich erfolgte die

<sup>2)</sup> Journal Royal Horticultural Society Vol. XXIV, S. 69.



*allgemeine* Anerkennung auch dann nicht sehr rasch und nicht ohne Reibung. Man braucht sich zum Beispiel nur an den Kampf zu erinnern, den *Bateson* in England jahrelang für *Mendel* zu führen hatte. Es ist aber nicht meine Aufgabe, das Schicksal der Mendelschen Gesetze über den Zeitpunkt der Wiederentdeckung zu verfolgen.

War es ein Unglück, daß *Mendels* Arbeit nicht sofort wirkte, und daß sie so lange vergessen blieb? Für die *Wissenschaft* sicher, obwohl es sich schwer vorstellen läßt, wie sich die theoretische Seite ohne die viel später gemachten Fortschritte auf histologischem und physiologischem Gebiete weiter entwickelt hätte. Der Vorgänge bei der Befruchtung und der ganzen Lehre vom Kern habe ich schon gedacht; man denke aber auch zum Beispiel an die chemisch-physiologischen Vorgänge bei der Farbstoffbildung. Für *Mendels* Ruhm war die Distanz, die er dadurch

vor seinen Nachfolgern erhielt, nur günstig. Wäre seine Arbeit in ihrer grundlegenden Bedeutung sofort erkannt worden, hätte sie gleich den Anstoß zu einer Forschertätigkeit gegeben, die auch nur einen kleinen Bruchteil derjenigen darstellte, die nach 1900 entstanden ist, wir würden jetzt kaum von „Mendelschen Gesetzen“ und von „mendelnden“ Bastarden reden. — Wenn wir *Mendel* bedauern, sollte es nicht wegen der jahrzehntelangen Vernachlässigung geschehen, sondern wegen des Streites um die Religionssteuer, die ihm seine letzten zwölf Lebensjahre immer mehr verbitterte und ihn in seiner wissenschaftlichen Arbeit hemmte. *Mendel* hat uns in seinen „Versuchen über Pflanzenhybriden“ ein Werkzeug in die Hand gedrückt, das wir dem Hebel des *Archimedes* vergleichen können; leider hat er nicht mit der leidenschaftslosen Forscherruhe des großen Griechen in seinem Problem aufgehen können.

## Zwei Jahrzehnte Mendelismus.

Von Richard Goldschmidt, Berlin-Dahlem.

Als *Gregor Mendel* etwa zwei Jahrzehnte nach seiner unwälvenden Entdeckung starb, stand das von ihm eröffnete Forschungsgebiet noch unverändert an der gleichen Stelle. Die alles Interesse konsumierende darwinistische Epoche hatte *Mendel* und seine Entdeckung am Wege liegen lassen. Nun sind wiederum zwei Jahrzehnte verflossen, seit *Mendels* Werk zum zweitenmal entdeckt und aus seinem Dornröschenschlaf geweckt wurde. Und welch verändertes Bild! An Stelle der wenigen Druckseiten, die *Mendels* Entdeckung kundtaten, türmt sich eine kaum mehr übersehbare Literatur; an Stelle einer auf ein Objekt beschränkten Einzeluntersuchung steht heute eine gewaltige Wissenschaft, die sich schon das Recht eines selbständigen Forschungsgebietes erstritten hat; an Stelle einer zunächst für einen Fall erkannten Gesetzmäßigkeit steht heute ein allumfassendes Lehrgebäude, von dem für alle Teile der Wissenschaft vom Leben Anregung und Förderung ausgeht. Dutzende von Lehrbüchern aller Sprachen führen den Anfänger in die Wissenschaft des Mendelismus ein, besondere Zeitschriften aller Kultursprachen veröffentlichen die Forschungsergebnisse, Hunderte von Forschern arbeiten unermüdlich am Ausbau der Lehre und weite Gebiete des praktischen Lebens bemühen sich, ihrer Arbeit mit Hilfe des Mendelismus die exakte Grundlage zu geben.

Wie das wohl meistens bei derartigen Entdeckungen geht, wurde ihre Tragweite zunächst verkleinert oder ganz geleugnet, und die Forscher, die zu Anfang dieses Jahrhunderts die mendelistische Pionierarbeit leisteten, wurden

vielfach von ihren Fachgenossen nicht recht ernst genommen. Um so mehr müssen wir ihnen dankbar sein, daß sie ihren als richtig erkannten Weg weitergingen und schließlich durch die Wucht der Tatsachen die Kritiker und Spötter beschämten. Zunächst galt es natürlich zu zeigen, daß *Mendels* Gesetze eine weite Gültigkeit haben und dementsprechend möglichst viele Fälle im Tier- und Pflanzenreich zu untersuchen. Meist stellte man dann fest, daß die untersuchten Erbeigenschaften mendelten, bisweilen schien aber das nicht so ohne weiteres der Fall zu sein. Heute hat es nur noch historisches Interesse, zu sehen, welche Schwierigkeiten da gefunden wurden, denn jetzt haben alle scheinbaren Abweichungen ihre Erklärung gefunden. Der einfache Mendelfall, wie er glücklicherweise *Mendel* selbst vorgelegen hat, ist heute nur noch das ABC des Mendelismus, das man kennen muß, wie die Zellenlehre oder den Pythagoras. Um den einfachen Fall aber hat sich eine Fülle von verwickelten Erscheinungen gelagert, die mit fortschreitender Erkenntnis immer mehr das Interesse absorbierten.

Bekanntlich besagt die Mendelsche Lehre, daß die erblichen Eigenschaften der Organismen durch in den Geschlechtszellen enthaltene Erbfaktoren (Determinanten, Gene) von Eltern auf Kinder übertragen werden und daß diese Gene als im wesentlichen stabile Einheiten weitergegeben werden. Dieser Schluß wurde aus dem Verhalten der Gene nach Bastardierung abgeleitet, da es sich zeigte, daß hier keine Vermischung der verschiedenen von den Eltern stammenden Gene stattfindet; sie bleiben viel-

mehr auch im Bastard als unabhängige Einheiten erhalten, die bei der Bildung der Geschlechtszellen des Bastards nach Wahrscheinlichkeitsgesetzen auf die verschiedenen Geschlechtszellen (Gameten) verteilt werden. Handelt es sich um ein Paar Gene, so erhält die Hälfte der Geschlechtszellen je das eine oder andere; handelt es sich um mehrere Genpaare, so werden alle denkbaren Kombinationen nach Wahrscheinlichkeitsgesetzen gebildet. Die Gene können somit durch Bastardierung durcheinandergewürfelt und nach Belieben kombiniert und rekombiniert werden. Die erste mendelistische Forschung sah nun natürlich ihre Aufgabe darin, für möglichst viele und verschiedenartige morphologische und physiologische Charaktere an Tieren und Pflanzen nachzuweisen, daß sie mendeln. Die dabei gelegentlich auftauchenden Schwierigkeiten konnten leicht überwunden werden z. B. durch den Nachweis, daß manchmal ein Außencharakter nur erscheint, wenn zwei oder drei Gene zusammenarbeiten, von denen jedes allein keine sichtbare Wirkung ausübt. Die in solchen Fällen vom einfachen Mendelfall abweichenden Zahlenverhältnisse wurden nach Erwartung gefunden und die dann aus der Faktorenformulierung abgeleiteten weiteren Konsequenzen auch im Experiment bewahrt. Die damals mit beträchtlichem Aufwand an Scharfsinn analysierten Fälle sind ja heute jedem Biologen als die Schulbeispiele des elementaren Mendelismus bekannt.

Bei diesen Untersuchungen wurden dann auch immer mehr Erbfaktoren bei gewissen Lieblingsobjekten der Forscher, wie Wunderblume, spanische Wicke, Löwenmaul, Mäusen, Kaninchen, Hühnern, in den Bereich der Analyse gezogen und so ein System komplizierter Faktorenformeln für gut untersuchte Objekte erreicht. Zur Erleichterung der Arbeit wurde das von Mendel selbst eingeführte System der Buchstabensymbole für die Erbfaktoren zu einem praktischen und leicht zu handhabenden Instrument weiter ausgebaut. Der diesem Forschungszweig Fernstehende hatte allerdings oft den Eindruck, daß hier mit den Faktorensymbolen Jongleurkunststücken ausgeführt wurden, wenn er sah, wie nicht recht stimmende Zahlenverhältnisse durch Einführung neuer Faktoren als Verstärker, Abschwächer, Inhibitoren gefügt gemacht wurden. Ein solcher Eindruck war allerdings nur bei oberflächlicher Betrachtung möglich, die sich im wesentlichen an der Terminologie stieß. Sachlich war ja immer durch weitere Analyse möglich, das Vorhandensein angenommener Hilfsfaktoren exakt zahlenmäßig zu beweisen.

Einen gewissen Abschluß fand dann diese Periode des elementaren Mendelismus durch den Nachweis, daß viele Eigenschaften, besonders solche quantitativer Natur, wie Größe und Wuchs, durch eine ganze Anzahl zusammenarbeitender sogenannter polymerer Faktoren bedingt werden.

Diese Erkenntnis mit ihren verschiedenartigen Varianten hat zahlreiche Fälle von scheinbar nicht mendelnder Vererbung auf mendelistischer Basis zu erklären und manche wichtige Nachbarprobleme, wie Inzuchtwirkung, Selektion, in den Bereich mendelistischer Forschung zu bringen ermöglicht.

So wurde denn durch viele mühsame Arbeit schließlich die Gültigkeit der einfachen Mendelgesetze für zahlreiche Erbeigenschaften nachgewiesen und die Annahme schon sehr wahrscheinlich gemacht, daß dieser Vererbungstyp der wichtigste, wenn nicht der einzige in der belebten Natur sei.

Die Entdeckung, die nach Klarstellung der elementaren Tatsachen den größten Einfluß auf die weitere Ausgestaltung der Mendelschen Lehre ausübte und schließlich in den Vordergrund der ganzen Erbllichkeitsforschung trat, ist der Nachweis, daß die mendelnden Gene ihren Sitz in den Chromosomen haben. Schon in den allerersten Jahren der neuen Mendelforschung hatten Sutton und Boveri darauf hingewiesen, daß das unabhängige Verhalten der Gene nach Bastardierung und ihre freie Rekombination nach Wahrscheinlichkeitsgesetzen in den Geschlechtszellen des Bastards vollständig erklärt sind, wenn man annimmt, daß die Chromosomen die Träger der mendelnden Faktoren sind; denn in dem eigenartigen Mechanismus, der bei der Reifeteilung der Geschlechtszellen ganze väterliche und mütterliche Chromosomen auseinander teilt, ist tatsächlich die materielle Vorbedingung für die Mendelsche Rekombination der Gene gegeben. Natürlich war die Idee nicht neu, daß die Chromosomen die Träger der Vererbung seien; eine ganze Literatur hatte sich seit Roux und Weismann über diesen Gegenstand entwickelt. Das Wichtige war vielmehr, daß in einem konkreten Fall die völlige Identität des aus dem Experiment erschlossenen Genverteilungsmechanismus mit dem im Mikroskop beobachteten Chromosomenverteilungsmechanismus festgestellt war. Viele, und auch führende Vererbungsforscher, besonders in England, verhielten sich aber der neuen Erkenntnis gegenüber ablehnend, teils weil sie die ihnen fremde Zellforschung mit Mißtrauen betrachteten, teils weil ihnen die Erklärungen mit Hilfe des Mendelschen Symbolismus genügend erschienen. So ging zunächst die Mendelforschung noch unabhängig von der Chromosomenlehre, ja oft im Gegensatz zu ihr weiter und erst in jüngster Zeit haben auch die letzten Unentwegten, die Die-Hards, wie sie in der englischen Politik genannt werden, die Waffen gestreckt.

Die Notwendigkeit, die Chromosomenforschung auf das engste mit der Mendelforschung zu verknüpfen, ergab sich, als man anfang, kompliziertere Fälle zu analysieren, bei denen zwar ohne weiteres eine Beziehung zur einfachen Mendelspaltung sichtbar war, aber doch nicht die erwarteten ein-



fachen Zahlenverhältnisse auftraten. Der wichtigste Fall dieser Art war die geschlechtsgebundene Vererbung, also die Vererbung bestimmter körperlicher Eigenschaften in engster Beziehung zum Geschlecht, also etwa derart, daß bei einer bestimmten Kombination alle Töchter die Eigenschaft vom Vater, alle Söhne aber von der Mutter erben. Die genetische Forschung war imstande, diese Fälle einer mendelistischen Erklärung zuzuführen, nachdem andere wichtige Entdeckungen den Nachweis gebracht hatten, daß auch das Geschlecht durch einen mendelnden Erbfaktor bedingt wird, der in besonderer Weise so auf die Geschlechtszellen verteilt wird, daß im einen Geschlecht alle Gameten ihn erhalten, im anderen Geschlecht aber nur die Hälfte. So wird der gleiche Zustand geschaffen, wie der, den wir antreffen, wenn ein Bastard erster Generation mit einem seiner Eltern rückgekreuzt wird. Denn auch hier bildet der Bastard mit einem mendelnden Faktorenpaar zwei Sorten von Gameten zu gleichen Teilen, die reine Rasse aber nur eine Sorte. Man brauchte nun nur anzunehmen, daß eine geschlechtsgebundene-vererbte Eigenschaft von einem Faktor bedingt wird, der mit dem Geschlechtsfaktor verkoppelt ist, also immer dessen Verteilung folgen muß und sich von ihm auch in der Reifeteilung nicht trennt, um zu einer Erklärung jenes Vererbungsmodus in Mendelscher Symbolik zu gelangen, die sich in allen Proben bewährte.

Nun hatte aber auch die Chromosomenforschung einen wichtigen Schritt vorwärts getan, der sich ebenfalls auf die Verteilung der Geschlechter bezog. Es war der Nachweis gelungen, daß bei vielen Tieren ein besonderes Geschlechtschromosom vorkommt, das in einem Geschlecht in Einzahl, im andern in Zweizahl vorhanden ist. Das letztere Geschlecht bildet bei der Reifeteilung der Geschlechtszellen lauter Gameten, die das Geschlechtschromosom enthalten; das andere Geschlecht aber zur Hälfte solche, die es enthalten, zur Hälfte solche, denen es fehlt. Die Parallele mit dem Verhalten der Geschlechtsfaktoren liegt auf der Hand, und so konnte die Schlußfolgerung ausgesprochen werden, daß das besondere Verhalten der Geschlechtsfaktoren darauf beruht, daß sie in den Geschlechtschromosomen gelegen sind; und weiterhin konnte geschlossen werden, daß Eigenschaften dann geschlechtsgebunden vererbt werden, wenn die ihnen zugrunde liegenden Erbfaktoren ebenfalls innerhalb der Geschlechtschromosomen liegen. Diese Schlußfolgerung, die seitdem durch scharfsinnige Versuche bis zur mathematischen Gewißheit bewiesen wurde, führte dann die definitive Verknüpfung von Chromosomenlehre und Mendelismus herbei, indem zunächst für ein bestimmtes Chromosom und eine bestimmte Gruppe von Erbfaktoren der Zusammenhang aufgezeigt wurde.

In den Vererbungsversuchen, die unabhängig von der Chromosomenlehre ausgeführt worden

waren, waren nun auch Abweichungen von den Spaltungs- und Zahlenverhältnissen gefunden worden, die nur so erklärt werden konnten, daß zwischen bestimmten Erbfaktoren Koppelungen oder auch Abstoßungen bestehen, d. h. daß bestimmte Erbfaktoren in den Reifeteilungen nicht einfach nach Wahrscheinlichkeitsgesetzen auf die Gameten verteilt werden, sondern daß sie dazu neigen, in einem gewissen Prozentsatz der Fälle beisammen zu bleiben oder, bei Abstoßung, öfters als die Wahrscheinlichkeit erlaubt, dazu neigen, in verschiedene Gameten zu gelangen. Auch diese Fälle konnten durch Einführung geeigneter Hilfsannahmen in den Mendelschen Symbolismus der Mendelschen Vererbung eingegliedert werden. Solche Fälle waren es, die den Ausgangspunkt für die so erfolgreiche Versuchsserie gaben, in denen auch für die nicht geschlechtsgebundenen Faktoren die Lage in den Chromosomen erwiesen wurde.

Eine der logischen Konsequenzen der Faktorenlehre war es, daß Veränderungen in der Erbschaffenheit eines Organismus nur in der Weise denkbar sind, daß neue Gene erscheinen, vorhandene verschwinden oder sich verändern. In jedem Fall mußte eine solche Veränderung plötzlich auftreten, von Anfang an voll erblich sein und die Kreuzung der veränderten Form mit der Ausgangsform mußte ein einfaches Mendelverhalten zeigen. Solche Faktorenveränderungen nennt man Mutationen. Es gelang nun, in der kleinen Fliege *Drosophila* ein Objekt zu finden, bei dem solche Mutanten häufig auftreten, und deren Erbverhalten zu analysieren; bei diesen mit Millionen von Individuen arbeitenden Versuchen gelang es denn, die Beziehung der Faktoren zu den Chromosomen in weitgehendstem Maße aufzuhellen. Wenn die Faktoren in den Chromosomen liegen und die Chromosomen während der Reifeteilungen nach Zufallsgesetzen, also in allen möglichen Permutationen auf die reifen Gameten verteilt werden, und wenn diese Verteilung die Ursache der Mendelspaltung ist, dann können nur so viele selbständig mendelnde, frei rekombinierende Faktoren vorhanden sein, als sich Chromosomen in der reifen Geschlechtszelle finden. *Drosophila* besitzt vier solcher Chromosomen, aber Hunderte von mendelnden Faktoren sind analysiert; jedes Chromosom muß also zahlreiche Faktoren tragen, die, in ihrem Chromosom eingeschlossen, dessen Verteilung in den Reifeteilungen mitmachen müssen. Mit anderen Worten, alle in einem Chromosom gelegenen Faktoren müssen gekoppelt vererbt werden, und wenn das Chromosom das Geschlechtschromosom ist, außerdem geschlechtsgebunden. Tatsächlich zeigte es sich, daß die sämtlichen analysierten Faktoren in vier Koppelungsgruppen zerfielen, von denen eine außerdem geschlechtsgebunden ist.

Wenn nun alles bisher Gesagte wirklich zutrifft, so müssen also alle in einem Chromosom gelegenen Faktoren untrennbar bei der Ver-

erbung zusammengehen. Tatsächlich tun sie das aber nicht: die Koppelung ist vielmehr keine absolute, sondern nur eine relative, die in einer Anzahl von Fällen durchbrochen wird. Das genaue Studium dieser Abweichungen zeigte nun, daß ihre relative Zahl für je zwei Faktoren konstant ist: also etwa bei den Faktoren *A* und *B* findet die Durchbrechung immer in 10 % der Fälle statt; bei *B* und *C* immer in 5 %. Wurde nun das Verhalten für *A* und *C* festgestellt, so war es entweder die Summe von  $AB + BC$  oder die Differenz  $AB - BC$ , also 15 % oder 5 %. Die Analyse solcher Gesetzmäßigkeiten führte schließlich zur Überzeugung, daß die Durchbrechung der völligen Koppelung durch einen Austausch innerhalb eines Faktorenpaares zu der Zeit stattfindet, in der das vom Vater und das von der Mutter stammende Chromosom je eines Paares in der sogenannten Synapsisperiode der Geschlechtszellen nebeneinander liegen. Die Art des Austausches mußte so angenommen werden, daß ganze Abschnitte der beiden Chromosomen vertauscht wurden. Wenn nun die Bruchstelle im Chromosomenpaar, von der ab die Vertauschung erfolgt, an irgendeiner Stelle seiner Länge liegen kann, dann ist die Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens zwischen zwei Faktoren (wodurch ihre Koppelung ja durchbrochen würde) proportional der Entfernung, die die einzelnen Faktoren im Chromosom voneinander trennt, vorausgesetzt, daß sie wie die Perlen auf einer Schnur hintereinander gelagert sind. Das Maß des Faktorenaustausches wäre also ein Maß für die Entfernung der Faktoren im Chromosom. Eine vollständige Erbanalyse vieler Faktoren müßte also ermöglichen, für jedes Chromosom eine Faktorenkarte zu entwerfen. Dies wurde auch ausgeführt und dabei die interessantesten Beziehungen aufgedeckt. Vor allem wurde aber dabei der definitive Nachweis geliefert, daß die Erbfaktoren körperliche Elemente sind, die in den Chromosomen liegen und daß somit die Mendelsche Vererbung eine Konsequenz der Besonderheiten des Chromosomenmechanismus ist.

Mit diesen Erkenntnissen ist nun Umfang und Tragweite der Mendelschen Vererbung viel weiter gesteckt, als man ursprünglich annehmen konnte. Denn jetzt gliedert sich eine jede Vererbungsweise, mag sie noch so sehr vom klassischen Mendelfall abweichen, dem großen von *Mendel* erschlossenen Erklärungsprinzip ein, wenn sie auf Grund des Verhaltens der Chromosomen zu verstehen ist. Gerade in den letzten Jahren sind wir mit Chromosomenbesonderheiten bekannt geworden, wie Verdoppelung eines oder mehrerer Chromosome, abweichendem Verhalten in den Reifeteilungen und ähnlichem, die alle absonderliche Erblichkeitsverhältnisse nach sich ziehen, die ohne die Chromosomenanalyse nie zu entwirren wären. In dieser Richtung dürfen wir in der nächsten Zeit noch auf wichtige Entdeckungen gefaßt sein. Dabei hat sich denn auch

die richtige Antwort auf die Frage ergeben, ob etwa nur untergeordnete Varietätscharaktere mendeln, während sich Speziescharaktere anders verhalten. Die Antwort ist, daß alle in den Chromosomen lokalisierten Faktoren mendeln oder solche Abweichungen von der Mendelschen Vererbung zeigen, wie sie auf Grund abweichenden Verhaltens der Chromosomen z. B. bei Speziesbastarden zu erwarten sind. Bis jetzt hat sich die überwältigende Mehrzahl der Erbeigenschaften als faktoriell bedingt erwiesen; nur einige wenige Charaktere sind bekannt, die im Protoplasma vererbt werden. Aber damit ist natürlich nicht gesagt, daß dem Plasma keine Bedeutung bei der Vererbung zukomme: das Plasma bleibt ja das spezifische Substrat, in dem die Gene ihre Tätigkeit entfalten.

So ist es denn der Arbeit von 20 Jahren gelungen, den von *Mendel* entdeckten Mechanismus der Vererbung fest zu begründen, seine Basis innerhalb der Zelle zu entdecken und die Faktorenlehre zur Grundlage der Vererbungstheorie zu machen. Nunmehr tritt aber ein weiteres Problem in den Vordergrund. Wir wollen wissen, was jene Faktoren sind, die vom Chromosomenmechanismus durch die Zellgenerationen hindurchgeführt werden und wie es kommt, daß ihre Anwesenheit das Erscheinen bestimmter Charaktere bedingt. Die Lösung dieser Fragen ist natürlich nur möglich durch eine enge Verknüpfung des Vererbungsversuchs mit entwicklungsmechanischer Analyse. Bisher war es nur möglich, die ersten Vorstöße in dieser Richtung auszuführen, die durch Untersuchungen über die Physiologie der Geschlechtsbestimmung ermöglicht wurden. Hier liegt für die Erblichkeitslehre das wichtigste Zukunftsgebiet frei.

Variation und Erblichkeit sind die Grundsatsachen, auf denen sich der Gedanke der Entstehung der Organismen durch allmähliche Entwicklung vom Einfachen zum Höheren aufbaut. Als Mittel dieser Evolution hatte bekanntlich *Darwin* den Begriff der Zuchtwahl oder Selektion eingeführt. Noch unter dem Einfluß der rein darwinistischen Ära hatte man vor der Wiederentdeckung *Mendels* begonnen, das Wesen der Variabilität mit Hilfe mathematischer Variationsstatistik zu studieren. In Verfolg solcher Arbeiten war das Prinzip der reinen Linien entdeckt worden und der Nachweis erbracht, daß innerhalb einer reinen Linie die Selektion wirkungslos ist. An diesem Punkt trat nun die Variationslehre in engste Beziehung zum Mendelismus. Denn die Faktorenlehre lieferte ihrerseits das Material, das Wesen erfolgreicher wie nicht erfolgreicher Selektion zu verstehen. In einem Individuengemenge gleicher Art, wie es sich in der Natur findet, sind nicht alle Individuen vom Erblichkeitsstandpunkt aus gleich. Im Gegenteil ist anzunehmen, daß sie sich in vielen unwesentlichen Charakteren unterscheiden, daß sie variieren. Wenn nun die Erbeigenschaften



auf der Anwesenheit von mendelnden Faktoren beruhen und wenn diese in verschiedenen Individuen nicht völlig identisch sind, so bedeutet eine jede zweigeschlechtliche Fortpflanzung eine Bastardierung mit ihrer Folge, der Rekombination, Permutation der Mendelfaktoren. Eine Menge von Individuen gleicher Art, die sich zweigeschlechtlich fortpflanzen, ist somit vergleichbar der Masse von Individuen, die aus einem verwickelten Bastardierungsversuch mit zahlreichen Mendelfaktoren nach mehreren Generationen hervorgehen. Wenn nun in einem solchen Gemenge Zuchtwahl bestimmter Eigenschaften ausgeübt wird, so wird sie tatsächlich zunächst erfolgreich sein, weil dem gewünschten Ideal näherkommende Faktorenkombinationen ausgesucht werden. Das kann mit Erfolg so lange fortgeführt werden, bis die ausgewählten Individuen in allen in Betracht kommenden Faktoren rein (homozygot) geworden sind. Damit ist aber das Ende der Selektion erreicht: sie kann nur vorhandene Faktorenkombinationen isolieren, keine neuen Faktoren schaffen. Der Mendelismus konnte also das Zuchtwahlproblem auf eine neue exakte Grundlage stellen. Besonders deutlich trat dies hervor, wenn Eigenschaften behandelt wurden, die auf der kumulierten Wirkung vieler Gene beruhen, polymer sind. Denn es ist eine der mathematischen Konsequenzen der Polymerie, daß die so

verursachten Eigenschaften als Folge der Permutation in Form der binomialen Kurve variieren, wie sie sonst für die nicht erbliche Form der Variation, die Modifikation, charakteristisch ist. Der Scheineffekt einer Selektion wird hier besonders deutlich und erst durch Kenntnis des Wesens der Polymerie erklärt.

Es ist begreiflich, daß unter solchen Umständen die mendelistische Vererbungslehre vielfach mit dem orthodoxen Darwinismus in Konflikt getreten ist, ein Konflikt, der allerdings von manchen Mendelforschern schärfer betont wurde, als es die Sachlage erforderte. Es darf aber auch umgekehrt nicht verschwiegen werden, daß manche neueren Entwicklungen wieder deutlich zurück zu Darwin führen. Nach der ersten Begeisterung beginnt man das Verhältnis der Faktorenlehre zum Artbildungsproblem wieder weniger intransigent anzusehen, und es scheinen allmählich Wege sichtbar zu werden, die aus den Schwierigkeiten herausführen, die durch die Konstanz und scheinbare Unveränderlichkeit der Gene für eine allmählich fortschreitende Evolution erwachsen. Auch in dieser Richtung ist noch viel zukünftige Arbeit zu leisten. Welches aber auch ihre Resultate sein werden, sie werden sich aufbauen auf der soliden Grundlage, die die vergangenen 20 Jahre für die Vererbungslehre geschaffen haben.

## Mendelismus und Tierzucht.

Von Hans Nachtsheim, Berlin.

Während sich die Pflanzenzucht die Ergebnisse der Vererbungsforschung von Jahr zu Jahr in steigendem Maße nutzbar macht, bewegen sich die Tierzüchter großenteils noch in Vorstellungen über Vererbung, Anpassung u. dgl., die mit neuzeitlicher Vererbungswissenschaft wenig gemein haben, und es kann bisher nicht davon die Rede sein, daß der Mendelismus für die Tierzucht bereits nennenswerte praktische Bedeutung gewonnen hat. Wenn wir daher an dem Gedenktage Mendels die Bedeutung seiner Lehre für die Zucht unserer Haustiere beleuchten wollen, so können wir kaum rückschauend Erreichtes betrachten. Es ist noch fast völlig unbebautes Neuland, das vor uns liegt, und wir müssen uns heute darauf beschränken, ein *Programm* zu entwerfen. Wir wollen zu zeigen versuchen, wie in *Zukunft* durch ein verständnisvolles Zusammenarbeiten von Theorie und Praxis auch in der Tierzucht die Verwertung der mendelistischen Ergebnisse reiche Früchte tragen kann.

Zunächst kurz einiges über die *Gründe*, welche einer modernen Entwicklung gerade der Tierzucht hemmend im Wege stehen. Man hat den Tierzüchtern wiederholt vorgeworfen, sie zeigten wissenschaftlichen Fortschritten gegenüber nicht

das mötige Verständnis, sie seien im Gegensatz zu den Pflanzenzüchtern ausgesprochen rückständig. Es liegt uns fern, hier für den fortschrittlichen Geist der Tierzüchter eine Lanze brechen zu wollen; man vermißt diesen Geist in der Tat oft, wenn man die tierzüchterischen Zeitschriften oder selbst neuere Werke über Tierzucht durchblättert. Aber wenn ein solcher Abstand zwischen Pflanzen- und Tierzüchtung besteht, so liegt die Schuld doch nicht in erster Linie bei den Tierzüchtern selbst, sondern sie liegt an den *Objekten*, mit denen diese arbeiten. Die Pflanzen bieten eben dem Vererbungsforscher in mannigfacher Hinsicht viel günstigere Verhältnisse dar als die Tiere. Viele unserer Kulturpflanzen sind Selbstbefruchter oder lassen sich doch künstlich durch Selbstbefruchtung vermehren. Der Pflanzenzüchter hat damit das für erbanalytische Untersuchungen so wichtige Mittel der Zucht von „reinen Linien“ in der Hand. Dieser Vorteil entfällt für den Tierzüchter, der nur mit getrenntgeschlechtlichen Lebewesen zu tun hat, völlig. Der Pflanzenzüchter kann weiterhin seine Versuche meist ohne allzu große Schwierigkeiten mit großen Individuenzahlen durchführen, ein für die Sicherheit der Ergebnisse bei Vererbungs-

experimenten nicht hoch genug einzuschätzender Faktor. So rechnet *Nilsson-Ehle* bei seinen Weizenkreuzungen mit 20 000 Individuen als Minimum für jeden Versuch. Welcher Tierzüchter aber — höchstens der Bienenzüchter ausgenommen, und auch der hat ja nur wenige fortpflanzungsfähige Tiere — vermöchte jemals mit solchen Zahlen zu operieren? Abgesehen davon, daß die Fruchtbarkeit der Vögel und vor allem der Säugetiere im Vergleich zu der vieler Pflanzen gering ist — selbst das Kaninchen mit seiner nicht ganz zu Recht vielgerühmten Fruchtbarkeit vermag mit ihnen nicht zu wetteifern —, ist es eben auch aus betriebstechnischen und finanziellen Gründen in der Regel ganz unmöglich, eine so beträchtliche Zahl größerer Tiere zu halten. Es kommt ferner hinzu, daß bei vielen Haustieren die Entwicklung bis zur Geschlechtsreife relativ lange dauert, und daß infolgedessen zur Beobachtung einer Reihe von Generationen lange Zeit erforderlich ist. So können verwertbare Resultate oft erst nach Jahren erzielt werden, und dabei droht dem Experimentator, der mit Säugetieren arbeitet, noch ständig die Gefahr, daß die Früchte jahrelanger Arbeit schließlich durch eine Seuche vernichtet werden, eine Gefahr, der der Pflanzenzüchter auch nicht in so hohem Maße ausgesetzt ist. Vielleicht liegt es in der im Vergleich zum Tierkörper geringeren Differenzierung des pflanzlichen Organismus begründet, daß viele wirtschaftlich wertvolle Eigenschaften unserer Kulturpflanzen ein einfacheres erbliches Verhalten zeigen als die wirtschaftlich wichtigen Eigenschaften unserer Haustiere. Bei letzteren handelt es sich hauptsächlich um quantitative *physiologische* Merkmale, die durch mehrere oder gar zahlreiche Erbfaktoren bedingt werden, und je weitgehender die „Polymerie“ ist, desto schwieriger ist es auch, zumal bei geringer Nachkommenschaft, den Erbgang der betreffenden Eigenschaft zu analysieren. Und weiter: Wenn es dem Pflanzenzüchter gelungen ist, durch Kreuzung eine bestimmte, für ihn erwünschte Kombination zu erhalten, so vermag er sie bei vielen Pflanzen einfach dadurch zu erhalten, daß er die Individuen vegetativ vermehrt. Auch dieser Weg ist dem Tierzüchter verschlossen, er muß immer wieder neu kombinieren.

Angesichts aller dieser und noch mancher weiterer Schwierigkeiten ist der weite Abstand zwischen Pflanzen- und Tierzucht wirklich nicht erstaunlich, und wir wundern uns auch nicht, wenn die Mehrzahl der Tierzüchter resigniert auf jede Kombinationszüchtung verzichtet und das einzige Heil in der Reinzucht sieht. Man liest in den tierzüchterischen Blättern Sätze wie: „Das erstrebenswerteste Zuchtziel muß sein, den Mendelismus in seiner Wirkung möglichst auszuschalten, er ist der Wertmesser für den Hochstand einer Zucht.“ Der Horror vor den „Aufspaltungen“, der sich in diesen Worten dokumentiert, ist charakteristisch für

viele unserer heutigen Tierzüchter, und wenn ein Züchter es wagt, offen einzugestehen, daß er Kreuzungen vornimmt, daß er sich durch Kombination zweier vorhandener Rassen die Zucht einer neuen Rasse zum Ziel gesetzt hat, welche die wertvollen Eigenschaften der beiden Ausgangsrassen in sich vereinigt, wenn er, wie man zu sagen pflegt, „mendelt“, so scheidet er für viele damit aus der Reihe der „Hochzüchter“ aus, denen mendeln pendeln bedeutet, pendeln von einer Kombination zur anderen. Es ist erfreulich, daß wir Züchter haben, die allen Schwierigkeiten und allen Anfeindungen zum Trotz es wagen, den dornenvollen Weg der Kombinationszüchtung zu beschreiten. Aber wenn wir hier einer Kombinationszüchtung auch in der Tierzucht das Wort reden, so wollen wir doch auch andererseits gleich davor warnen, aus einem Extrem ins andere zu fallen und nun ganz systemlos zu kreuzen in der Hoffnung, eines Tages „Überraschungen“ zu erleben und eine Kombination zu erhalten, die aus diesem oder jenem Grunde besonders interessant oder wertvoll erscheint. Wenn es gelingt, einen Bastard aus „drei Gattungen und vier Arten“ von Rindern zusammenzusetzen ( $Yak \times \text{Holländer} \times \text{Banteng} \times \text{Gayal} \times \text{Westerwald}$ ), so mag das ein ganz schönes Beispiel für weite Kreuzungsmöglichkeiten sein, aber aus einem solchen Mischmasch irgendwelche Vererbungstheoretische Schlüsse ziehen zu wollen, ist gänzlich unzulässig. Solche Experimente sind, vom mendelistischen Standpunkte aus betrachtet, nichts anderes als Spielereien, und es ist schade um die Zeit und die Mittel, die darauf verwandt werden.

Welche Wege stehen uns aber, wenn wir den Mendelismus wirklich für die Tierzucht, und speziell für die Großtierzucht, nutzbar machen wollen, zur Verfügung? Eine erfolgreiche Kombinationszüchtung können wir nur treiben, wenn wir die *erbliche Grundlage* der Eigenschaften, auf die wir besonderen Wert legen, kennen. Eine möglichst weitgehende *Erbanalyse der wirtschaftlich wertvollen Eigenschaften unserer Haustierassen* muß infolgedessen das erste Ziel der zukünftigen Tierzucht sein. Dieses Ziel können wir auf zwei Wegen zu erreichen suchen, einmal direkt auf dem Wege des Experimentes und sodann indirekt durch Verarbeitung des in den Herd- und Zuchtbüchern gesammelten statistischen Materiales.

Mit unserem Nutzgeflügel hat man — wenigstens in Amerika und England — auch bereits mit groß angelegten Vererbungsexperimenten begonnen, aber so groß auch die Schwierigkeiten des Experimentierens mit unseren Haussäugetieren sind, so sollten wir uns dadurch nicht abhalten lassen, auch mit diesen zu experimentieren. Freilich — die Klippe, an der die Experimente bei uns heute zu scheitern pflegen, ist das Fehlen von geeigneten Instituten und vor allem von Mitteln zur Durchführung



der Untersuchungen. Zwar hat man schon bald nach der Wiederdentdeckung der *Mendelschen* Regeln den Ruf erhoben, Versuchsanstalten für Vererbungs- und Züchtungskunde zu begründen, aber dieser Ruf ist bei uns in Deutschland ergebnislos verhallt. In Zeiten, wo es uns möglich gewesen wäre, derartige Versuchsanstalten mit Leichtigkeit zu schaffen, haben wir es versäumt. Während in den Vereinigten Staaten von Amerika z. B. jede Landwirtschaftliche Hochschule ihr Institut für Vererbungsforschung besitzt, haben wir in Deutschland nur ein einziges Institut dieser Art, das zudem derart kümmerlich mit Mitteln ausgestattet ist, daß an großzügige Versuche selbst mit kleinen Haustieren gar nicht gedacht werden kann. Besteht auch für uns heute nicht die Möglichkeit, das Versäumte in vollem Umfang nachzuholen, so sollten doch wenigstens alle Kräfte angespannt werden, damit wir nicht gar zu weit hinter anderen Ländern zurückbleiben. Es könnte u. E. trotz aller Not, in der wir uns befinden, viel geschehen. Wenigstens ein Institut muß auch der Staat bzw. das Reich arbeitsfähig zu machen imstande sein, zumal da es sich hier um ein Institut handelt, dessen Arbeiten in erster Linie der *Praxis* zugute kommen sollen und werden, unserer Landwirtschaft. Und gerade darin sehen wir für unsere landwirtschaftlichen Kreise auch die unbedingte Pflicht, selbst Mittel in reichem Maße zur Verfügung zu stellen, sowohl in der Form finanzieller Beiträge zur Schaffung der Institute, als auch besonders in der Form von Naturalieferungen, seien es nun Versuchstiere oder das zu deren Unterhaltung notwendige Futter. Unsere Landwirtschaft ist imstande, diese Mittel flüssig zu machen. Aber während die Industrie großzügig auch heute noch neue Institute schafft, läßt die schwerfällige Landwirtschaft bisher den genügenden Weitblick vermissen, um ein Gleiches zu tun. Möge der Appell, den wir am Gedenktage *Mendels* an sie richten, Erfolg haben!

Ist auch die Errichtung eigener Anstalten für Züchtungskunde ein unbedingtes Erfordernis, so lassen sich doch manche Arbeiten auch bereits ohne Bestehen dieser Anstalten in Angriff nehmen, wenn nur Wissenschaft und Praxis in der richtigen Weise zusammenarbeiten. In den großen Herden, mag es sich um das Besitztum einzelner Züchter oder von Verbänden handeln, kann der Vererbungsforscher reiches Material finden, das sich zum mindesten zu Vorstudien zu den später auf breiter Basis auszuführenden erbanalytischen Experimenten verwenden läßt. So können Untersuchungen über den Einfluß des Milieus auf das Individuum selbst und auf seine Nachkommen angestellt werden. Es läßt sich ferner die Wirkung der Inzucht verfolgen, ein Problem, das trotz vielseitiger Bearbeitung, die es in den letzten Jahren erfahren hat, doch immer noch der endgültigen Lösung harret. Auch über den Erbgang einzelner Merkmale wird man

an dem in den Herden vorhandenen Material schon einige Klarheit gewinnen können. Um nur ein Beispiel zu nennen: Eine Analyse der Vererbung der Wollcharaktere unserer Schafrassen ist eine Untersuchung, deren große Bedeutung für die Praxis niemand bestreiten wird. Zu einer wirklichen Klarlegung der Vererbungsverhältnisse sind ausgedehnte Experimente, bei denen es der Zusammenarbeit vieler bedarf, erforderlich. Aber auch hier sind Vorstudien in den Herden schon von Wert, zumal wenn es sich um Herden handelt, die das Produkt der Kreuzung verschiedenwolliger Schafe sind. Der Züchter, der für die wissenschaftliche Arbeit Verständnis hat, wird auch insofern ohne große Opfer dem Vererbungsforscher entgegenkommen können, als er einzelne Tiere aufzieht und zur Fortpflanzung bringt, die für den Praktiker zwar keinen Zuchtwert besitzen oder wenigstens zu besitzen scheinen, für den Theoretiker aber bei seinen Studien besonders wertvoll sein können.

Vor allem scheinen uns aber, auch die Verhältnisse, wie wir sie in den Herden finden, die Prüfung gewisser *Methoden* zu gestatten, um zu ermitteln, inwieweit diese für die Züchtungskunde von Wert sind. Wir denken da in erster Linie an die von *Joh. Schmidt* ausgearbeitete Methode der diallelen Kreuzung oder kreuzweisen Paarung, die es erlaubt, den *Zeugungswert* des Individuums von seinem *persönlichen* Wert zu scheiden. Die Methode besteht, um es kurz zu sagen, darin, sämtliche männlichen Tiere nacheinander mit sämtlichen weiblichen Tieren zu paaren. Wenn wir *A* Männchen mit *B* Weibchen kreuzen, so erhalten wir *A × B* Nachkommenkombinationen, und indem wir nun die sich dabei ergebenden Gleichungen subtrahieren, erhalten wir den Unterschied im Zeugungswert zwischen dem der Weibchen einerseits und dem der Männchen andererseits. Zugegeben auch, daß sich gegen die Methode manche Einwände erheben lassen, und daß sie bei den meisten unserer Hausäugetiere infolge deren langsamer Entwicklung und geringer Nachkommenzahl nur beschränkter Anwendung fähig ist. Aber *Joh. Schmidt* hat mit Recht schon selbst darauf hingewiesen, daß die Methode, von der Geflügel- und Fischzucht abgesehen, vor allem in der Schweinezucht große Bedeutung gewinnen kann. Sie stellt einen wenn auch nicht vollwertigen, so doch gewiß brauchbaren Ersatz für die Methode der „reinen Linien“ dar, auf deren Anwendung der Tierzüchter verzichten muß. Und vor allem auch scheint uns die Methode deshalb von besonderer Bedeutung zu sein, weil sie dem Tierzüchter den Unterschied zwischen *persönlichem* Wert und *Zeugungswert* ad oculos zu demonstrieren vermag, den Unterschied, anders ausgedrückt, zwischen Phänotyp und Genotyp. Sie kann damit zur Tilgung des in der Tierzucht immer noch weit verbreiteten verhängnisvollen Mißbrauches beitragen, ein Tier nicht nach seinen *Nach-*

kommen und damit nach seinen *Leistungen*, sondern nach seiner äußeren *Form* zu beurteilen.

Die Methode der diallelen Kreuzung ist zur Prüfung des erblichen Verhaltens quantitativer Merkmale bestimmt, und wir haben ja bereits darauf hingewiesen, daß die große Mehrzahl der wirtschaftlich wertvollen Eigenschaften unserer Haustiere in diese Gruppe gehört. Fruchtbarkeit, Fröhreife, Frohwüchsigkeit, Milch- und Fettproduktion, Mastfähigkeit, Fleischfülle, Knochenfeinheit, Temperament, Krankheitsfestigkeit, Widerstandsfähigkeit gegen Witterungseinflüsse, gegen verschiedene Ernährung, Futterausnutzungsfähigkeit, das ist eine Anzahl solcher physiologischer Eigenschaften, von denen wir wissen, daß sie bei den verschiedenen Rassen unserer Haustiere erblich sehr verschieden sein können, über deren *Erbgang* uns aber bisher so gut wie nichts bekannt ist. Wir können nur mit Bestimmtheit sagen, daß sie wohl alle „polymer“ bedingt sind, daß ihre Entfaltung auf dem Zusammenwirken einer ganzen Reihe von Erbfaktoren beruht. Je größer aber die Zahl dieser Faktoren ist — wir haben bereits darauf hingewiesen —, desto schwieriger ist auch die Analyse. Es kommt hinzu, daß alle diese Eigenschaften auch durch das Milieu stark beeinflusst werden. Überdies dürfte auch die Konstitution des Plasmas, in dem die im Kern lokalisierten Erbfaktoren, die mendelnden Gene, ihre Wirksamkeit ausüben, für manche der genannten Eigenschaften von Bedeutung sein.

Es fehlt uns vor allem bisher noch eine befriedigende Methode, um die *Zahl* der Mendelfaktoren, die bei der Entfaltung quantitativer Merkmale im Spiele sind, zu bestimmen. Jüngst haben *Castle* und *Wright* solche Methoden angegeben. Letzterer berechnet die Faktorenzahl

nach der Formel  $n = \frac{D^2}{8(\sigma_2^2 - \sigma_1^2)}$ , wobei  $D$  die Differenz zwischen den Mittelwerten der elterlichen Rassen bedeutet,  $\sigma_1$  die Standardabweichung von  $F_1$ ,  $\sigma_2$  die Standardabweichung von  $F_2$ . Die Methode rechnet mit einer völlig gleichen Wirksamkeit sämtlicher beteiligten Faktoren, und darin liegt ihre große Schwäche. Wir wissen, daß der eine Faktor ein Merkmal in der Plusrichtung modifizieren kann, der andere in der Minusrichtung, daß der eine es stark in der Plusrichtung bzw. der Minusrichtung abändert, der andere nur schwach, daß der eine Faktor dominant sein kann, der andere rezessiv usw. Schließlich ist wieder die geringe Individuenzahl in  $F_1$  und  $F_2$  ein Hemmnis bei der Anwendung der Methode, die gleichwohl ebenfalls eine Prüfung in der Praxis verdient.

Um die Fehlerquellen, die bei erbanalytischen Untersuchungen aus der Verwendung zu kleiner Nachkommenschaften entspringen, zu vermeiden, bedient man sich in der menschlichen Erblichkeitsstatistik der von *Weinberg* ausgearbeiteten Geschwister- und Probandenmethoden. Auch

diese Methoden — wir müssen es uns versagen, sie hier näher darzulegen — dürften in der Tierzucht, worauf bereits *Just* hingewiesen hat, noch einmal Bedeutung gewinnen.

Doch wir sind damit bereits auf den zweiten Weg zu einer Erbanalyse unserer Haustiere gekommen, auf den Weg der statistischen Forschung. Die mit unseren Haustieren arbeitende Erbforschung hat der menschlichen Erbforschung insofern etwas voraus, als sie wenigstens in gewissen Grenzen die Möglichkeit hat zu experimentieren. Der menschlichen Erbforschung steht nur die statistische Methode offen. Aber insofern wieder ist der Tierzüchter dem Mediziner gegenüber im Nachteil, als das ihm zur Verfügung stehende statistische Material viel weniger — fast könnten wir sagen noch weniger — zuverlässig ist als das Material der medizinischen Statistik. Ein von einem Schweine- oder Schafmeister geführtes Herdbuch ist für uns völlig wertlos, ja man darf behaupten, daß sich von den bisherigen Aufzeichnungen in den Herd- und Zuchtbüchern fast nichts für die Vererbungsforschung verwenden läßt. Da nun aber selbst unter besseren Verhältnissen als den heutigen das Experimentieren mit Säugetieren — es ist der statistischen Methode immer vorzuziehen — nur innerhalb gewisser Grenzen angängig ist, so können wir auf die statistische Methode auch in der Tierzucht keinesfalls verzichten. Es gilt also, die Zuchtbuchführung in der Weise zu reformieren, daß das Material in Zukunft für die Vererbungswissenschaft verwendbar wird.

Was der Vererbungsforscher sucht, steht in den in der bisherigen Form geführten Herdbüchern nicht darin, oder die Angaben sind zu ungenau. Nehmen wir z. B. an, es handele sich um die Feststellung des Geschlechtsverhältnisses oder der Fruchtbarkeit der verschiedenen Schweinerassen. Schon wenn wir diese relativ einfache Frage an der Hand der Zuchtbücher beantworten wollen, stoßen wir auf Schwierigkeiten. Die totgeborenen Tiere werden vielfach überhaupt nicht notiert oder, wenn es geschieht, unterbleibt meistens die Angabe des Geschlechts. Selbst die in den ersten Tagen nach der Geburt kreperten oder durch die Mutter erdrückten Tiere sind bisweilen unvollständig angegeben, sei es, daß es aus Nachlässigkeit geschieht, sei es, daß mehr oder weniger bewußt der Prozentsatz der hochgebrachten Ferkel auf diese Weise in günstiger Richtung zu beeinflussen gesucht wird. Ein derartiges Material aber scheidet natürlich für die wissenschaftliche Arbeit von vornherein aus. Oder ein Beispiel aus der Schafzucht. Eine wichtige Frage, die der Beantwortung durch die Wissenschaft harret, ist die Frage der Vererbung der Behörnung und des Kryptorchismus und des vielfach behaupteten Zusammenhanges beider Charaktere. Ob ein Tier behörnt ist oder nicht, wird zwar in den Herdbüchern verzeichnet, aber wenn ein kryptorches Individuum fällt, so wer-



den oft genug von dem betreffenden Tier gar keine weiteren Aufzeichnungen gemacht, da es als Lamm geschlachtet wird. Und auch die Angaben: behörnt oder unbehörnt, kleines oder großes Horn usw. genügen für die erbanalytische Untersuchung nicht. Sind nur schwache Knochenwucherungen vorhanden, wo sonst die Hörner sitzen, so wird das Tier als hornlos bezeichnet, und wenn gar nur eine starke Schuppung der Haut an der Stelle der Hörner zu konstatieren ist, so wird davon erst recht keine Notiz genommen. Für den Vererbungsforscher sind aber alle diese Angaben unerlässlich. Häufig sind die Angaben zu subjektiv. Bei jedem Schaf wird natürlich im Herdbuch als eines der wichtigsten Merkmale der Charakter seiner Wolle eingetragen. Aber die Bestimmung des Wollecharakters erfolgt rein makroskopisch und nach dem Gefühl, und die Wolle wird entsprechend der Einteilung der Industrie nach ihrem Feinheitsgrad als aa-, ab-, c-Wolle usw. bezeichnet. Mit diesen Angaben vermögen wir aber nichts anzufangen. Die Wollproben müssen *mikroskopisch* untersucht und die Wollstärke *gemessen* werden. Nur so ist eine einigermaßen objektive Bestimmung möglich. Und schließlich noch ein Beispiel aus der Schweinezucht. Die Zahl der Zitzen beim Hauschwein ist sehr variabel, sie schwankt zwischen 10 und 16, ja selbst 18. Je größer die Zahl der funktionsfähigen Zitzen ist, desto mehr Ferkel vermag im allgemeinen die Sau zu ernähren und hochzubringen. Bei der Auswahl der Zuchtsauen achtet deshalb der Züchter in der Regel auch auf die Zitzenzahl und nimmt nur solche Tiere zur Zucht, die wenigstens eine gewisse Mindestzahl an Zitzen aufweisen. Wollen wir aber an der Hand der Herdbücher etwas über die *Vererbung* der Zitzenzahl zu ermitteln suchen, so kommen wir wieder nicht weit. Die meisten Schweinezüchter tragen die Zitzenzahl ihrer Tiere überhaupt nicht in die Zuchtbücher ein, oder aber man findet sie nur für die weiblichen Tiere angegeben, und auch da nur für die Zuchttiere. Sodann wird nur die Gesamtzahl mitgeteilt, nichts über die Verteilung auf der rechten und linken Seite gesagt, geschweige denn, daß genau vermerkt wird, welche Zitzen etwa rechts, welche links fehlen (z. B. 2. Zitze rechts, 6. Zitze links). Eigene Untersuchungen haben uns gezeigt, daß auch dies von Wichtigkeit für die Klärlegung der Erbliehkeitsverhältnisse ist. Die Eintragung in die Zuchtbücher läßt sich am leichtesten und übersichtlichsten vermittelt eines Schemas bewerkstelligen, in dem alle Zitzen angegeben sind und die bei dem betreffenden Individuum fehlenden durchstrichen werden.

Wir haben hier nur einige Beispiele herausgegriffen. Ganz ähnlich aber geht es uns bei jeder Frage, die wir an der Hand der Herdbücher prüfen wollen. Wir halten es deshalb für ein unbedingtes Erfordernis, daß die Vererbungswissenschaft gemeinsam mit der Praxis Herd-

buchblätter (d. h. die Formulare) ausarbeitet, in denen alles das, was für die Erbanalyse der wertvollen Eigenschaften der betreffenden Tiergattung von Wichtigkeit ist, eingetragen wird. Die gewissenhafte Führung derartiger Herdbücher wird natürlich nur in den Händen von Leuten liegen dürfen, die sich über die Bedeutung der Aufzeichnungen vollauf im klaren sind, die mit anderen Worten die Grundlagen und Methoden der Vererbungswissenschaft beherrschen. Es kommen da in erster Linie die Tierzuchtinspektoren und Tierzuchtassistenten in Frage oder — sollten wenigstens in Frage kommen. Bisher ist deren Ausbildung auf vererbungswissenschaftlichem Gebiete an den meisten Hochschulen freilich noch recht kümmerlich, und wie an unseren Universitäten für Mediziner und Biologen, so müssen wir auch an unseren Landwirtschaftlichen Hochschulen eine bessere Berücksichtigung der Vererbungslehre im Lehrplan verlangen. Die exakte Führung von Herdbüchern, wie wir sie hier im Interesse der Vererbungswissenschaft in Vorschlag bringen, beansprucht — das brauchen wir kaum zu betonen — weit mehr Arbeitszeit, als das bei den bisherigen Herdbüchern der Fall ist. Schon aus diesem Grunde ist es unmöglich, daß die Bücher von jemand geführt werden, der in dem Betriebe bereits durch andere Arbeiten stark belastet ist. Eine Zuchtbuchführung in der vorgeschlagenen Art kommt deshalb auch nur für wirkliche Großbetriebe in Frage, die es sich gestatten können, eine geeignete Persönlichkeit vornehmlich mit dieser Aufgabe zu betrauen. Es würde aber u. E. auch vollkommen genügen, wenn wir für jede Haustiergattung in Deutschland etwa ein Dutzend Betriebe mit solcher Zuchtbuchführung hätten. Im übrigen könnten wir uns damit begnügen, weitere Betriebe dadurch in den Dienst der Vererbungswissenschaft zu stellen, daß wir ihnen bei der Zuchtbuchführung Einzelaufgaben stellen. Dessen sind wir sicher, daß auf diese Weise im Laufe bereits eines Jahrzehnts ein Material zusammengetragen werden könnte, das nicht nur für die theoretische Wissenschaft von der größten Bedeutung wäre, sondern das vor allem der praktischen Tierzucht überreichen Gewinn bringen würde, und damit wohl der Mühe lohnen würde, die darauf verwandt wird.

Wir kehren zu unseren Eingangsworten zurück. Es wartet die Tierzucht noch darauf, daß sie der Mendelismus zu Erfolgen führen wird, und es war nur ein *Programm für die Zukunft*, das wir hier entwerfen konnten. Die Schwierigkeiten, die einer praktischen Verwertung der mendelistischen Ergebnisse entgegenstehen, sind, darüber sind wir uns völlig im klaren, außerordentlich groß. Aber wir gehören nicht zu den Kleingläubigen, die sie für unüberwindlich halten. Ähnliche Gründe wie die, welche die Tierzüchtung so weit hinter der Pflanzenzüchtung zurückbleiben ließen, hatten ja auch zur Folge,

daß die Anteilnahme der *Zoologie* an der vererbungswissenschaftlichen Forschung lange Zeit hinter den Leistungen ihrer Schwesterwissenschaft, der *Botanik*, zurückstand. Die *Botanik* ist die Begründerin der Vererbungswissenschaft. *Mendel* selbst war vornehmlich Botaniker, und wenn seit 1900 unsere Wissenschaft einen so raschen Aufschwung genommen hat, so haben auch daran Botaniker in allererster Linie Anteil, ja man darf behaupten, daß viele grundlegende Entdeckungen überhaupt nur an botanischen Objekten möglich waren. Es sei nur an die bedeutungsvollen Untersuchungen *Johannsens* über Erblchkeit in Popu-

lationen und reinen Linien erinnert. Aber allen Schwierigkeiten zum Trotz ist es der *Zoologie* doch gelungen, sich in der Vererbungsforschung einen der *Botanik* ebenbürtigen Platz zu erringen, ja es muß angesichts der weittragenden Ergebnisse, zu denen gerade die erbanalytischen Untersuchungen an Tieren in den letzten Jahren geführt haben, auch der Botaniker zugeben, daß beim Ausbau des Mendelismus die *Zoologie* heute die Führerrolle übernommen hat. Und das läßt uns hoffen, daß auch ihr praktischer Teil, die Haustierzucht, der Schwierigkeiten Herr werden wird und am Beginne einer neuzeitlichen Entwicklung auf dem Boden des Mendelismus steht.

## Mendelforschung und menschliche Erblchkeitslehre.

Von Eugen Fischer, Freiburg i. Br.

Unmittelbar oder mittelbar, bewußt und ausgesprochen oder ungewollt und unbemerkt ist das Endziel aller naturwissenschaftlichen Forschungen der Mensch selber. Was bringt das Licht der Mendelschen Vererbungsgesetze für die Erkenntnis des „Menschen“? Man kann wohl nach zwei Seiten hin neue Wege, neues Verstehen wahrnehmen: Erstens hat man für zahllose normale und pathologische Merkmale des Menschen den Mendelschen Erbgang feststellen können: Das gab Deutungen und Erklärungsmöglichkeiten für viele biologische und morphologische Tatsachenreihen, die man bisher beobachtet und festgestellt hat, aber nicht verstehen konnte. Es sind teils solche auf medizinischem Gebiet, normale Merkmale und sogenannte erbliche Krankheiten und pathologische Bildungen, die Frage der erblichen Belastung, der Entartung, der Konstitution usw., teils aber rein anthropologische: Die Fragen der Entstehung aus tierischen Formen, die Erscheinungen der sog. Rückschläge und „pithekoiden“ (affenähnlichen) Bildungen, die Rassenentstehung, Rassenkreuzung, Rassenmischung und -entmischung (Rassentod) endlich die Rassenhygiene sind geradezu umwälzend beeinflusst worden. — Dann hat aber die Mendelforschung am Menschen noch eine zweite Folge gehabt: Nachdem heute die breite Basis, das Allgemeinzutreffen der Mendelgesetze als „der“ Erbform aller Rassenmerkmale (im weiteren Sinne) für Tier- und Pflanzenreich gesichert ist, nachdem zahlreiche Stichproben und gründliche Einzelarbeiten dasselbe für den Menschen erwiesen haben, bekommen die Fälle von *Nichtzutreffen* der Mendelgesetze, die scheinbaren Ausnahmen, ein neues Gesicht! Sie fallen auf, sie verlangen dringend nach Erklärung: die Frage der Umweltwirkung, das Studium des Idio- und Paratypus (-Geno- und Phänotypus), d. h. des erblich bedingten und des durch die Lebenslage („Peristase“ mihi) Bewirkten kommt in neuen Fluß, durch die experimen-

telle Vererbungslehre (an Tier und Pflanze) wird gerade heute die *Anthropobiologie* stark in den Vordergrund gerückt: Fragestellungen, die die Forscher der Anfangsperiode der Anthropologie, der 70er Jahre interessiert haben, die dann aber der morphologisch-vergleichend-anatomischen Betrachtung der „Deszendenz“ und der deskriptiven oder systematischen Anthropologie und Anthropographie weichen mußten, stehen plötzlich wieder auf und werden von neuen Gesichtspunkten aus behandelt.

Diese zwei Seiten der Mendelforschung am Menschen sollen kurz beleuchtet werden.

Nach der Wiederentdeckung der Mendelschen Gesetze im Jahre 1900 mußte zunächst die Schaffung einer breiten Erfahrungsgrundlage an Tier und Pflanze erfolgen, ehe man die Anwendung auf den Menschen ins Auge faßte. So wurde in den ersten Jahren nach 1900 an Mäusen, Schnecken, Hühnern, Schmetterlingen und anderen Tieren (neben zahllosen Pflanzenversuchen) experimentiert und ein für den Menschen vergleichbares Tatsachenmaterial beigebracht. Im Lichte dieser Ergebnisse fielen dann die entsprechenden Erscheinungen bei sog. erblichen Mißbildungen auf; man sammelte Stammbäume oder studierte schon vorhandene auf das Zutreffen der Spaltungsregeln und man fand zunächst — etwa in der Mitte des ersten Jahrzehntes dieses Jahrhunderts — daß sich viele Fälle von Mißbildungen, überzählige Finger und Zehen oder Zehenlosigkeit, angeborene Hautmißbildungen, gewisse Augenerkrankungen und anderes nach den Mendelschen Gesetzen „erklären“ lassen. Erst 1907/08 wurden dann auch beim Menschen normale, also „Rassen“-Merkmale geprüft, die den im Tierexperiment untersuchten voll zu vergleichen waren, Haarfarben, Augen- und Hautfarbe (*Davenport* u. a.), und 1913 wurde (*E. Fischer*) erstmals Kreuzung stark verschiedener Menschenrassen — Europäer und Hottentotten — nach dem



Auftreten Mendelscher Vererbungserscheinungen systematisch untersucht. So war also eine mehr als zehnjährige Arbeit nötig, um erst der Erkenntnis Geltung zu schaffen, daß auch der Mensch „mendelt“. Das wurde dann aber auch für immer mehr Einzelfälle, in immer allgemeinerer Geltung festgestellt. Heute verfügen wir über ein gewaltiges Tatsachenmaterial, das das Zutreffen der Mendelschen Gesetze für den Menschen einwandfrei erweist, so daß man sagen kann, *alle* uns bekannten normalen und pathologischen Merkmale, die sich überhaupt erblich übertragen, folgen den Mendelschen Erbgesetzen. Das Beweismaterial für den Menschen liegt also einmal bei normal-anatomischen (und physiologischen) Merkmalen, dann in pathologischen.

Es führte zu weit, wollte man hier auf viele Einzelheiten eingehen, es soll nur auf das Grundsätzliche und in seinen Folgen Wichtige hingewiesen werden. Es ist natürlich nur in unserer Arbeitsteilung bezüglich normal anatomischer und pathologischer Forschung gelegen, wenn wir die eben angedeutete Zweiteilung der tatsächlichen Ergebnisse vornehmen, in der Sache sind alles, die sog. normalen und die pathologischen, einfach „Merkmale“, durch die sich Linien voneinander unterscheiden und bezüglich welcher Kreuzung stattfindet. Grundsätzlich müssen wir eine erbliche Sechsfingerigkeit als Merkmal einer sechsfingerigen „Rasse“ auffassen, genau wie wir von rot- und weißblütigen Erbsen „*rassen*“ sprechen, wenn sich zwei Stämme auch *nur* durch dieses Farbmerkmal unterscheiden. Erst bei dieser Überlegung wird klar, daß tatsächlich alle diese menschlichen „Merkmale“ mendeln müssen. Aber aus praktischen Gründen sei auch hier jener Zweiteilung gefolgt, die dem Theoretiker wichtigen anatomisch-anthropologischen Merkmale sollen zuerst betrachtet werden, dann die ärztlich so ungeheuer bedeutungsvollen pathologischen.

Die Grundlage für oben aufgestellte Behauptung von der ausnahmslosen Geltung der Mendelschen Gesetze für die menschlichen Merkmale ist heute so groß, daß hier höchstens andeutungsweise eine Aufzählung erfolgen kann. Der Nachweis der Mendelvererbung ist erbracht für die Haarfarbe, dunkel ist dominant über hell, die Rothaarigkeit, Albinismus, sowohl partiellen (weiße Einzelsträhnen) wie allgemeinen, für die Hautfarbe — die durch eine lange Reihe einzelner Erbfaktoren bestimmt ist, daher die vielen Fälle scheinbarer intermediärer Vererbung, Mulatten — dann für die Augenfarbe, für Sommersprossenbildung. Weiter: schlichte Haarform ist rezessiv gegen wellige, diese und jene gegen krause; wahrscheinlich „*straff*“ (mongolid) dominant gegen schlicht. Die Körpergröße, die Schädelbreite und -länge, die Nasenform, Lippen- und Form der Augenlidspalte haben alle ihre Mendelvererbung erwiesen; nur wenige Einzelheiten seien dabei herausgegriffen. Die hochoberbogene, vorspringende Form des Nasenrückens ist dominant über die flache, niedere,

breite. Das trifft zu sowohl bei Europäer-Hottentotten-Mischlingen<sup>1)</sup>, wie bei Kreuzung der nord- und mitteleuropäischen Bevölkerung mit Juden<sup>2)</sup>. Aber man kann leicht sehen, daß an der Nase sich die Form der Nasenspitze, der Nasenflügel, der Wurzel einzeln vererben können. Sehr vielfach sieht man nun, daß all diese sicher durch eigene Erbfaktoren bestimmten Teile sich *zusammen* vererben (relative „Koppelung“), so daß eine Gesamtnasenform in manchen Familien durch mehrere Generationen sichtbar ist, aber nicht selten kommt es auch zu einer Sprengung jener Koppelung — die Natur muß dann sozusagen nicht zusammen passende Stücke im neuen Einzelindividuum vereinigen; das gibt disharmonische Formen. Auch die Nasen- und Gesamtgesichtsform (lange schmale Nase und langes schmales Gesicht) sind häufig bedingt verbunden (Vererbung eines „*Familientypus*“), werden aber auch oft auseinander gesprengt; man stelle sich die disharmonischen Gesichter der sehr stark gemischten Großstadtbevölkerung vor. Auf dem Gebiet der Deutung und Erklärung vieler physiognomischer Einzelheiten ist noch eine Menge mendelscher Einzelforschung zu leisten.

Gewisse auf ein Geschlecht beschränkte krankhafte Erscheinungen (Bluterkrankheit, gewisse Sehstörungen) haben auch für den Menschen erwiesen, daß das Geschlecht sich nach Mendel vererbt, und zwar ist der Mann heterozygotisch. (Ein besonderes Geschlechtschromosom ist nicht bekannt.) Endlich hat das Studium nach Mendel vererbter Geisteskrankheiten den bindenden Schluß erlaubt, daß auch die körperlichen Anlagen zu normalen geistigen Fähigkeiten sich spaltend vererben, bis zu einem gewissen Grade kann man das auch familienweise für die einzelnen seelischen Äußerungen verfolgen<sup>3)</sup>.

Es genügt wohl, diese Hinweise gegeben zu haben — die Basis nachweisbarer Mendelvererbung beim Menschen ist groß genug, um allgemeine Schlüsse zu erlauben.

Zunächst fällt einiges Licht auf die Abstammungsfrage des Menschen, allerdings noch nicht gerade viel. Wir wissen aus Tier- und Pflanzenexperimenten noch nicht einwandfrei, ob man aus irgendwelchem Verhalten eines Merkmales im Erbgang (etwa Dominanz) auf stammesgeschichtliches (relatives) Alter schließen darf. Dagegen läßt uns die Mendelforschung das Auftreten sog. atavistischer Merkmale verstehen. Die

<sup>1)</sup> Eugen Fischer, Die Rehobother Bastards und das Bastardierungsproblem beim Menschen, Jena 1913. (Hier bis 1913 alles Bekannte über Rassenkreuzung zusammengestellt. Lit.)

<sup>2)</sup> Salaman, Heredity and the Jew. Journ. of Genetics 1911.

<sup>3)</sup> Ausführl. Darstellung von Lenz in: Baur, Fischer, Lenz, Grundriß der menschl. Erblchkeitslehre und Rassenhygiene, München 1921. (2. Aufl. Spätjahr 1922.)

Sommer, Familienforschung und Vererbungslehre, Leipzig 1922, bringt eine Menge Material, aber ohne Mendelsche Fragestellung.

sog. affenähnlichen Eigenschaften, die ab und zu, bei manchen menschlichen Gruppen gehäuft, am Schädel oder sonst auftreten, müssen ja wohl vom Mendelschen Standpunkt aus neu untersucht werden. — Ebenso gewinnt die Frage der Rassenentstehung ein neues Gesicht. Man muß das Entstehen neuer mendelnder Merkmale annehmen, die dann durch Isolierung bzw. Auslese sich erhielten. Die Ursachen, die das Neuauftreten solcher neuer erbbeständiger Eigenschaften veranlassen, sind uns bekanntlich noch fast ganz unklar. Es müssen Faktoren sein (chemische, thermische, radioaktive usw.), die die Keimdrüse mit ihren Keimelementen selbst beeinflussen. Nun scheint es, daß die starken Stoffwechseländerungen, die den Tierkörper treffen, wenn wir ihn dem Freileben entziehen und in Zucht, in „Domestikation“ nehmen, gerade auch die Keimdrüsen stark in Mitleidenschaft ziehen. Viele Tiere reagieren auf Domestikationsversuche mit Sterilität. Erfolgreich domestizierte scheinen, wie bekanntlich Darwin ausführte, besonders zur Hervorbringung neuer Erbvarianten zu neigen<sup>4)</sup>. Diese sind größtenteils durch nach Mendel sich vererbende Merkmale bedingt. Nun lehrt die Tatsache, daß alle sog. „Rassenmerkmale“ des Menschen (d. h. die Unterschiede zwischen den (syst.) „Rassen“ der heutigen Menschheit) auch als entsprechende Rassenmerkmale fast aller unserer Haustiere vorkommen und fast alle Haustiermerkmale umgekehrt beim Menschen. Man darf ganz gewiß den Menschen (auch sog. Wilde) als domestizierte Form ansehen (Fischer<sup>5)</sup>). Durch das in der Domestikation auftretende Variieren (Idiovariationen) und die Mendelsche Vererbung bzw. Erhaltung (Wiederauftreten bei Spaltung) in Verbindung mit Auslese und Isolierung sind die heutigen Rassen und Rassenunterschiede entstanden und erhalten.

Aber noch viel mehr Einblicke als in die Rassenentstehung gewährt die Mendellehre in die Probleme der Rassenkreuzung.

Da haben wir zunächst gelernt, eine ganze Menge Vorstellungen und teilweise ohne feste Terminologie solche durch die Literatur gehende Ausdrucksweisen als unhaltbar auszumerzen. Das „Durchschlagen“ der „wilden Urrassen“ bei Kreuzung mit Kulturrassen, die durch Kultur „geschwächt“ sind, ist Phantasie. Nicht eine bestimmte Rasse schlägt durch und hält sich dann, sondern bestimmte Merkmale sind dominant, treten also dann auch in den späteren Generationen häufiger auf, als die anderen (3 : 1); aber diese rezessiven verschwinden nie ganz. Daß bei Kreuzung

von nördisch oder alpin mit orientalisches-vorderasiatisch (d. h. völkisch ausgedrückt bei indogermanisch-jüdischer Mischung) „stets“ oder auch nur „meistens“ der jüdische Typus durchschlage, ist irrig. Die dunkle Haarfarbe, die große, hohe, konvexe Nase sind dominant (letztere aber z. B. auch, wenn der germanische Teil eine solche und der etwa ostjüdische eine niedere kurze hatte). Das eine oder andere Physiognomiemerkmal der Juden mag auch dominant sein (worüber Angaben nicht vorliegen), so daß  $\frac{3}{4}$  Individuen der späteren Generationen einzeln solche Merkmale haben — wenn die dominanten vom nichtjüdischen Teil kommen, sehen wir im allgemeinen darüber weg, eine bekannte psychologische Erscheinung! Also ein sozusagen grundsätzliches, d. h. in ihrer Natur oder Vererbungs„kraft“ gelegenes „Durchschlagen“ einer Rasse gibt es nicht!

Weiter hat die Mendelerfahrung eine wohl zuerst von v. Lusch<sup>6)</sup> festgestellte Erscheinung ziemlich geklärt. Man sieht vielfach, so z. B. in Vorderasien (v. Lusch<sup>6)</sup>), daß, wenn eine ansässige Rasse durch Völkerverschiebungen (Eroberungskriege) von fremdrassigen Elementen überlagert oder innig durchsetzt wird, die alte Rasse nach Jahrhunderten wieder da ist, es ist „Entmischung“ eingetreten. Zu erklären ist das nur mit der Tatsache, daß eben bei solcher Rassenmischung kurzweg die Merkmale der einzelnen Rassen kein gemeinsames Mittelmerkmal bilden, sondern einzeln wieder und immer wieder herausmendeln. Wenn nun Auslese — natürliche durch die klimatischen Verhältnisse, soziale durch Kriegsverluste, geringe Fortpflanzung usw. der Herrschaft — immer wieder die eine Rasse trifft, wird diese schwinden und die andere sich „restituieren“. Haecker<sup>7)</sup> weist darauf hin, daß die einzelnen anthropologischen Merkmale sich bei solchen Rassenkreuzungen etwas verschieden verhalten; manche, die entwicklungsgeschichtlich „einfach-verursacht“, ausgesprochen „autonom“ sind, mendeln ganz rein stets sichtbar heraus, andere, die „komplex-verursacht“ sind, zeigen keine einfache Spaltung, sondern stufenweises Auseinanderfallen, viele scheinbar intermediäre Formen (wie z. B. die Gesichtsform, Schädelform in Mitteleuropa usw.). Sie mendeln wohl zum Teil „polymer“, d. h. die Merkmale sind je durch mehrere gleichsinnig wirkende Faktoren bedingt. Man kann durch diese Annahmen die gesamte Erscheinung der v. Luschanschen Entmischung für erklärt halten (wie Verf. es bisher auch tat), aber es ist doch wahrscheinlich, daß in all diesen Fällen noch andere Faktoren als erbliche mitspielen, auf die aber nur andeutungsweise unten eingegangen werden soll.

<sup>4)</sup> Darwin konnte zu seiner Zeit zwischen echten erblichen Neumerkmalen („Idiovariationen“) und fluktuierenden, durch Umweltwirkungen bedingten, nur den „Phänotypus“ ändernden „Paravariationen“ nicht unterscheiden. Sein Werk muß nach dieser Richtung einmal revidiert werden.

<sup>5)</sup> Eugen Fischer, Die Rassenmerkmale des Menschen als Domestikationserscheinungen. Festschr. Schwalbe, Zeitschr. Morph. und Anthr. 1914.

<sup>6)</sup> v. Lusch<sup>6)</sup> (in Petersen und v. Lusch<sup>6)</sup>, Reisen in Lykien, Miliar und Kibyratis, Wien 1889. (Vgl. auch v. Lusch<sup>6)</sup>, Journ. R. Anthr.-Inst. Vol. 41, S. 221.)

<sup>7)</sup> V. Haecker, Entwicklungsgeschichtliche Eigenschaftsanalyse, Jena 1918, und Allgemeine Vererbungslehre, 3. Aufl., Braunschweig 1921.



Es wird noch mancher Arbeit bedürfen, bis wir die Rassenkreuzungen an den verschiedensten Stellen der Erde, in den mannigfaltigsten Stufen und Intensitäten wirklich durchschauen. Aber eines können wir heute schon sagen. In all den Fällen, wo in aufeinander folgenden prähistorischen Zeiten, vom Neandertaler bis in die ersten historischen Perioden, je verschiedene, nicht glatt zu einander passende Schädelformen gefunden werden, einfach stets Einwanderung eines neuen Elementes von irgendwoher anzunehmen — das geht nicht mehr! Die Mischung als solche macht keine neuen Formen, die dann eine konstante neue Rasse darstellen; jener *deus ex machina* „Einwanderung“ erklärt also solche prähistorischen Schädelkunde in keiner Weise! Auch auf diesem Gebiet muß neue Arbeit einsetzen, die bewußt auf dem Mendelschen Standpunkt steht.

Nun darf aber gerade derjenige, der die ganz allgemeine ausnahmslose Gültigkeit der Mendelgesetze für alle Rassenmerkmale betont, ja nicht vergessen, daß es außer den Erbfaktoren noch andere Kräfte gibt, die auf die Ausgestaltung der Individuen und ihrer Merkmale wirken. Auch deren Studium hat gerade durch das intensive Beobachten der Erblchkeitserscheinungen neuen mächtigen Anstoß bekommen. Es ist recht interessant, zu sehen, wie Forschungsrichtungen auch auf diesem Gebiet wechseln. Über *biologische* Rassenfragen, wie Rassenfruchtbarkeit, Kreuzung, „Milieu“-wirkung und dergl. hat man in der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts viel diskutiert; wären bei ihrer Entdeckung die Mendelschen Ergebnisse bekannt geworden, hätten sie sicher jene anthropologischen Fragen aufs stärkste beeinflußt. Aber es kam die Zeit der Darwinschen Deszendenzlehre, man interessierte sich für Anthropogenese, dann unter der Einsicht, daß eine breite, vergleichende Grundlage vorhanden sein müsse, für dekritiv-metrische Untersuchungen an menschlichem und Affenmaterial. Heute dürfen wir den Männern, die das Riesenmaterial geliefert haben, danken — an ihm kann man heutige Fragestellungen prüfen — und heute kommen rein biologisch solche wieder auf. So lehren uns die Mendelschen Regeln also auf jene Fälle achten, wo keines ihrer Zahlenverhältnisse zutrifft.

Wir finden z. B. im Schwarzwald oder in gewissen anderen süddeutschen Gebirgen, etwa dem Walsertal im Vorarlberg, als Folge der Mischung der eingewanderten nordischen Rasse (Alemannen) mit der alten ansässigen rundschädelligen, brünetten sog. alpinen eine Bevölkerung<sup>8)</sup> mit etwa 11% Blauäugigen und 17 % Blonden. Nach der einfachen Mendelregel dürften es etwas mehr sein, der Unterschied läßt sich als Folge von Auslese (Auswanderung) leicht verstehen. Auch daß in derselben Walsertalbevölkerung 60 % Große,

75 % Schmalgesichtige sind, dürfte bei der Dominanz (im allgemeinen) dieser Merkmale plausibel sein. Aber dazu wäre nun bei der von *Hauschild*<sup>9)</sup> und *Frets*<sup>10)</sup> aufgewiesenen mendelschen Vererbung der Schädelform eine mindestens rezessive Minderheit von Dolichocephalen zu erwarten. Es fand sich kein einziger solcher! Ganze 1,4 % Mesocephale! — Hier müßte Auslese, wenn sie die Ergebnisse des Erbganges allein abgeändert hätte, derart gewirkt haben, daß geradezu jedes Kind mit (kurz gesagt) dolichocephaler Erbanlage ausgemerzt worden ist! Hier nehme ich<sup>11)</sup> an, daß gerade durch dieses Nichtzutreffen der Mendelschen Gesetze der unmittelbare Einfluß von (uns unbekannten) Umweltfaktoren erwiesen ist. Es sei dabei an die Beobachtungen erinnert, die *Boas*<sup>12)</sup> an Einwanderern und ihren Kindern in Amerika machte, wo die Schädelform ebenfalls geändert wurde, ferner an die Tatsache, daß die jüdische Bevölkerung in Baden (nach *Ammons* Ergebnissen) in ihrer Schädelform Schwankungen zeigt, die denjenigen der anderen in geographischer Verteilung parallel gehen. M. M. n. ist all das gerade ein starker Hinweis auf die fundamentale Bedeutung der Mendelforschung für die Anthropologie. Wir können immer nur die fertigen Merkmale sehen, den „Phänotypus“ oder das Erscheinungsbild. Dieses aber setzt sich zusammen aus dem Erben und dem, was die Umwelt daraus modelt. Hier ist die Stelle, wo unsere anthropologische Analyse einsetzen muß und eben leise begonnen hat einzusetzen. Ein Etwas an der Schädelform ist erblich (daher der gelungene Nachweis ihrer Mendelvererbung, *Hauschild*, *Frets* u. a.), ein Etwas aber kann durch Umweltwirkung bedingt sein, hier ist es viel, dort wenig oder gar nichts. Gerade die jüdische Bevölkerung stellt hier ein noch viel zu wenig studiertes Beispiel dar, ihre Rassenmerkmale im ganzen seit Jahrtausenden immer wieder oder immer noch erkennbar, aber manche Merkmale je nach der Örtlichkeit leise abgewandelt, man hat oft gesagt, dem betr. Volk angeglichen, gewiß, weil eben seine in derselben Richtung von derselben Umwelt phänotypisch beeinflußt sind.

An genau dieselben Dinge ist doch wohl auch zu denken bei der oben erörterten Frage der „Restitution“ einer Rasse und ihrer „Entmischung“. Ich glaube, daß da doch auch unmittelbare Umweltwirkungen mitspielen. Die große Konstanz die (um ein anderes Beispiel zu nennen) die Ägypter in ihrem Rassentypus durch

<sup>9)</sup> *Hauschild*, Das Mendeln des Schädels. Zeitschr. f. Ethn. Bd. 48, 1916, und Die Göttinger Gräberschädel, Zeitschr. f. Morph. Anthr. Bd. 21, 1921.

<sup>10)</sup> *Frets*, Heredity of Headform in Man. „Genetica“ 1921 (s. Gravenhage).

<sup>11)</sup> Vortr. der Anthropol. Vers. Hildesheim 1921, im Druck noch nicht erschienen.

<sup>12)</sup> *Boas*, Changes in Bodily Form of Descendants of Immigrants, Washington 1910 und 1911. — The Anthrometry of Porto Rico. Amer. Journ. Anthr. III, 1920.

<sup>8)</sup> *R. Wacker*, Zur Anthropologie der Walser des großen Walsertales in Vorarlberg. Zeitschr. Ethnol. 1912.

die Jahrtausende zeigen, ist m. M. n. (wie übrigens *früher* schon von bedeutenden Autoren andeutungsweise oder deutlich ausgesprochen wurde) *zum Teil* (nur zum Teil!) bedingt durch Einflüsse „Ägyptens“, die wir allerdings im einzelnen auch nicht einmal ahnen!

An der Frage, welche Einflüsse etwa wirken können, sollte viel mehr gearbeitet werden!

Hellpach<sup>13)</sup> hat soeben zu zeigen versucht, wie sogar Sprache und geistige Züge (Temperament) die Gesichtsform phänotypisch modeln, die Akten darüber sind noch nicht geschlossen.

Wenn die Mendelgesetze botanisch-zoologisch Neues ergeben haben, anthropologisch sind sie gewiß zu Gleichem berufen.

Aber noch viel größer ist heute schon die *Bedeutung der neuen Erbgesetze für die praktische Medizin!* Es braucht ja nur daran erinnert zu werden, welche verdiente Beachtung bei Arzt und Laien die Tatsache der „erblichen Belastung“, der Krankheitsvererbung, der sog. erblichen Konstitution, der Degeneration genossen! All diese Dinge sind uns doch überhaupt jetzt erst einigermaßen klar geworden! Es ist hier mangels Raum nicht möglich, das alles im einzelnen klarzustellen, es muß auf eingehende Schilderungen der Literatur<sup>14)</sup> verwiesen werden. Man kennt heute von Hunderten von Krankheiten genau ihren Erbgang, es ist unmöglich, hier auch nur aufzuzählen, wie zahllose Augenleiden, Taubstummheit, zahllose Hauterkrankungen, eine Menge Mißbildungen, gewisse Konstitutionsanomalien und Stoffwechselerkrankungen (Neigung zu Asthma, zu Arteriosklerose, zu Gicht, zu Zuckerkrankheit, zu Tuberkulose usw. usw.), dann Nervenleiden und zahlreiche sog. Geisteskrankheiten, wie all diese sich, die einen dominant, die anderen rezessiv vererben!

Unsere ganzen Ansichten über sog. erbliche Belastung sind anders geworden. Leider sind diese neuen Ergebnisse noch lange nicht Gemeingut auch nur der Ärzte geworden. Stammbäume und Familientafeln, die nur die erkrankten Glieder bringen, sind heute unbrauchbar; auch die gesunden müssen verzeichnet sein, wenn man die Mendelschen Zahlenverhältnisse prüfen will.

Die Mehrzahl der krankhaften Erbanlagen vererben sich rezessiv. Das erschwert — und erschwerte besonders im Anfang unserer diesbezüglichen Kenntnisse — ihren Nachweis sehr! Beide Eltern, evtl. alle vier Großeltern des betr. Kranken sind gesund — weiter zurück ist nichts bekannt —, die ein oder zwei Geschwister sind ebenfalls gesund, also — so lautete bisher der Schluß — liegt keine erbliche Belastung vor! Heute weiß man es besser. Wenn durch irgendeine Schädigung der Keimmasse (Syphilis [?] oder

Alkohol oder uns unbekannten Faktor) an dieser ein Defekt gesetzt ist, der sich in z. B. einer bestimmten Geisteskrankheit äußert, dann werden von den mit gesunden Ehegatten von diesem Kranken erzeugten Kindern *keines* die Krankheit zeigen, da sie rezessiv vererbt ist; aber alle werden die rezessive Erbanlage haben. Pflanzen sie sich mit *Gesunden* (also aus Erblinien, die in *dieser* Anlage gesund sind) fort, werden *alle* Kinder gesund sein, aber *ein Teil* (bei genügend großer Zahl 50 %) hat absolut sicher die krankhafte Anlage (die sich aber *unmöglich* zeigen kann!)<sup>15)</sup>. Durch *lange Generationen* wird das so weitergehen, absolut sicher und gleichmäßig, also *alle* gesund, aber ein Teil mit der verborgenen Anlage! Erst wenn einmal der Zufall ein Individuum dieser Familie zur Zeugung mit einem Gatten zusammenführt, der dieselbe rezessive krankhafte Anlage hat, dann *müssen* kranke Kinder kommen! Generationen zurück lag die Entstehung! Für unseren Forschungsbereich (3 oder 4 Generationen, wenn es gut geht!) waren also alle gesund! Und *doch* liegt Mendelsche Vererbung vor. Wenn aus Ehen zwischen Vetter und Base zweiten Grades solch erkranktes Kind entsteht, hat eines ihrer Urgroßeltern die Krankheit gehabt, seitdem niemand mehr — die eigentliche Entstehung der Krankheit geht also vielleicht in die napoleonische Zeit und weiter zurück (Lenz l. c.).

Seit derartiger Erkenntnis müssen eine Menge Ausdrücke und verschwommene Begriffe, wie „bloß familiäres“ Leiden im Gegensatz zu „hereditärem“, „direkte“ und „indirekte“, „kollaterale“ Belastung usw. endgültig verschwinden, wie Lenz (l. c.) mit Recht sagt: „Es gibt nur *eine* Vererbung, und diese beruht auf gesonderten Einheiten des Idioplasmas, von denen jede die Wahrscheinlichkeit  $\frac{1}{2}$  hat, am Aufbau eines bestimmten Kindes mitzuwirken.“

Aber nicht nur derartig fertige Ergebnisse hat die Medizin der Mendelforschung zu danken, es sind auch eine Reihe Fragen erst neu aufgetaucht oder haben ein neues Interesse gewonnen. Daß gerade in unseren Tagen das Problem der „Konstitution“ von allen Seiten wieder erörtert wird, hängt gewiß damit zusammen! Es soll hier nicht angeschnitten werden; man ist dabei, dem Begriff mit neuer Energie zu Leibe zu gehen, festzustellen, ob und welche Momente dabei „erworben“ sind, wie Umwelt- und Erbwirkung gegeneinander abzugrenzen sind u. dergl. mehr. Ganz neu sind Fragestellungen nach der Bedeu-

<sup>13)</sup> Hellpach, Das fränkische Gesicht. Sitz.-Ber. Heidelberger Akad. d. Wissensch. Math.-nat. Kl. 1921.

<sup>14)</sup> Baur, Fischer, Lenz (l. c.) geben wohl die weitest eingehendste Schilderung dieser ganzen Verhältnisse.

<sup>15)</sup> „Anlage ist hier also nicht Disposition, die nur auf äußeren Reiz wartet, um manifest zu werden. Der Arzt sagt heute oft bei Ausbruch einer Geisteskrankheit, die im Anschluß an eine psychische Erschütterung (im Krieg!) plötzlich auftritt, der Kranke habe die „Anlage“ dazu gehabt und sie sei durch das äußere Ereignis nur ausgelöst worden. Das ist etwas ganz anderes, hat nicht das geringste mit dem rezessiven Faktor zu tun! Hier *muß* allmählich diese Unklarheit verschwinden!



tung der Rassenkreuzung als solcher für die Konstitution oder für einzelne bestimmte Erkrankungen. Ob wirklich die Kreuzung von mongolider und nordischer Rasse in Skandinavien stärker zu Tuberkulose prädestiniert? (*Lundborg*)<sup>16)</sup>. Und kann man wirklich Umweltwirkung ausschließen und Kreuzung als solche als den Grund auffassen für disharmonische Körper- und Geistesanlagen gewisser Mischlinge? (*Mjöen*)<sup>17)</sup>.

Eine Menge neuer Probleme stehen auf — an Arbeit, befruchtet von *Mendels* genialem Gedanken, wird es nicht fehlen. Jedenfalls hat er uns auch auf dem Gebiet der Erforschung des Menschen einen gewaltigen Schritt vorwärts gebracht — *wir beginnen heute „die“ Vererbung des Menschen wirklich etwas kennen zu lernen!*

Daß diese Vertiefung und Erweiterung unserer Kenntnisse von der Vererbung beim Menschen deren praktische Anwendbarkeit in ganz anderem Licht erscheinen läßt, ist ganz selbstverständlich. So mußte die *Rassenhygiene* dadurch mächtig gefördert werden — leider in unserem

eigenen Vaterland nur theoretisch! Schweden hat das erste staatliche Institut für Rassenhygiene geschaffen unter der vielversprechenden Leitung *Lundborgs*<sup>18)</sup> — Norwegen besitzt das von *Mjöen* geschaffene Laboratorium, England und Amerika haben ältere, jetzt aber erneut erweiterte „eugenische“ Anstalten, Ungarn hat eine solche, die Schweiz kürzlich eine große Geldstiftung für diese Zwecke erhalten — Deutschland hat auf diesem Gebiete gar nichts!

Wenn wir heute freudig feststellen, wie die Mendelforschung auch für das Studium der menschlichen Biologie, für die gesamte Medizin Neues und Ungeahntes brachte, wie sie besonders die für die Zukunft der Kulturvölker so unendlich wichtige, ja mit ausschlaggebende Rassenhygiene fördert und noch mehr fördern könnte, wenn entsprechende Arbeitsstätten beständen, dürfen wir vielleicht an das Mendelgedenkenjahr die Hoffnung knüpfen, daß auch in Deutschland eine Forschungsanstalt für Rassenhygiene gegründet werde — das schönste Denkmal für Mendels Erblchkeitslehre!

## Die Bedeutung der Mendelschen Gesetze für die Pflanzenzüchtung.

Von E. Baur, Berlin.

Für die Pflanzenzüchtung bedeutet die Entdeckung der Spaltungsgesetze den Übergang von rein empirischer Selektion zu zielbewußtem synthetischem Arbeiten. Man kann ruhig sagen, daß die ganze nächste Zukunft der Pflanzenzüchtung fast ausschließlich auf dem Ausbau der Kombinationszüchtung, d. h. auf nichts anderem als auf der unmittelbaren Umsetzung der Mendelschen Gesetze in die Praxis beruht.

Bei den Kulturpflanzen, die ganz oder doch stark vorwiegend Selbstbefruchter sind, führt jede richtig gehandhabte Auslese, die man heute stets als Individualauslese mit Bewertung des Individuums nach seiner Nachkommenschaft durchführt, dahin, daß fast reine und sehr weitgehend homozygotische Stämme erhalten werden, die dann durch weitere Selektion nur noch äußerst langsam verbesserungsfähig sind.

Große züchterische Fortschritte sind bei allen diesen Kulturpflanzen, zu denen z. B. Weizen, Gerste, Hafer, Erbsen und Bohnen gehören, nur dadurch möglich, daß man versucht, auf dem Wege der Kreuzungen gewisse vorteilhafte Eigenschaften, die in verschiedenen Sorten getrennt vorkommen, in einer Sorte zu vereinigen. Das glänzendste Beispiel hierfür sind *Nilsson-Ehles* erfolgreiche Bemühungen, die Winterfestigkeit

der wenig ertragreichen schwedischen Landweizen mit den guten Eigenschaften der westeuropäischen hoch ertragreichen aber nicht winterfesten Dickkopfwizen zu vereinigen.

Den Weg für solche Vereinigung einzelner Eigenschaften hat *Mendel* gezeigt: in der zweiten Bastardgeneration, aus der Kreuzung der beiden genannten Rassen, müssen theoretisch Formen auftreten, welche die gewünschte Eigenschaftskombination verkörpern.

So leicht theoretisch eine solche Eigenschaftskombination ist, so schwer ist sie freilich in der Praxis, und zwar deshalb, weil bei diesen Kreuzungen sehr viel verschiedene Erbfaktoren mitspielen. Hoher Ertrag und Winterfestigkeit beruhen jeweils für sich schon auf einer Kombination einer großen Zahl von Erbfaktoren, und die Wahrscheinlichkeit ist sehr gering, daß in der  $F_2$ -Generation nun unter den vielen hunderttausend Kombinationen, die hier auftreten können, gerade diejenigen gefunden werden, welche man haben möchte.

Eine solche Kombinationszüchtung setzt also voraus, daß oft lange Jahre hindurch sehr große  $F_2$ -Generationen (10—50 000 Pflanzen) herangezogen und durchmustert werden.

Erfüllt man diese Bedingung, so bleiben auch die Erfolge nicht aus. Es ist bekannt, daß z. B.

<sup>16)</sup> *Lundborg*, Rassen- und Gesellschaftsprobleme in genetischer und medizinischer Beleuchtung. „Hereditas“ (*Lund*) I, 1920.

<sup>17)</sup> *Mjöen*, Harmonische und unharmonische Kreuzungen. Zeitschr. f. Ethnol. 1921.

<sup>18)</sup> *Anderson*, The Swedish State-Institute for Race-Biological Investigation. Stockholm 1921.

*Nilsson-Ehle* die gewünschte Kombination: — für Südschweden genügende Winterfestigkeit + hoher Ertrag — fast völlig erreicht hat, und daß die so gewonnenen neuen Kombinationen in Schweden sowohl gegenüber dem Landweizen wie gegenüber dem englischen Dickkopfwizen einen Mehrertrag von 40—50 % geben.

Auf diesem Wege der Kombinationszüchtung sind noch sehr wesentliche Verbesserungen auch unserer deutschen Sorten erreichbar.

Auch bei uns spielt, für Weizen und Wintergerste besonders, die Winterfestigkeit eine sehr große Rolle. Weizen z. B., allerdings sehr ertragsarme Weizen, welche auch die schwersten Winter glatt überstehen und mindestens so winterfest sind wie Roggen, gibt es, und damit ist die Kombinationsaufgabe: „Vereinigung der unbedingten Winterfestigkeit mit dem hohen Ertrag unserer westeuropäischen besten Dickkopfwizen“ gegeben. Es ist nur eine Frage der Zeit, wann sie gelöst sein wird. Gerade solche strenge Winter wie der letzt vergangene, in dem große Flächen von Winterweizen vernichtet worden sind, und wo für den gesamten Winterweizen ein starker Ernteausschlag bedingt wird, lassen die rasche Lösung dieser Aufgabe besonders wichtig erscheinen.

Wir werden ferner versuchen müssen, einzelne Sorten unserer Wintergetreide ohne Ertragschwächung wesentlich frühreifer zu machen und sie dahin zu bringen, daß sie die Trockenperioden im Frühsommer besser überstehen. Auch das dürfte durch Kreuzungen mit osteuropäischen und asiatischen Sorten erreichbar sein, allerdings erst in jahrelanger Arbeit.

Eine weitere auf dem Wege der Kombinationszüchtung unbedingt lösbare Aufgabe ist die Verbesserung der Backfähigkeit des Weizenmehles.

Auch für die Züchtung der Fremdbefruchter unter unseren Kulturpflanzen ist die Methode der Kombinationszüchtung — die ja, wie vorhin schon

gesagt, nichts anderes ist als die Umsetzung der Spaltungsgesetze in die Praxis — von der größten Tragweite. Hier findet zwar bei der gewöhnlichen Fortpflanzung schon eine fortwährende Neukombination statt, nahezu jedes Individuum ist stark heterozygotisch. Es ist also möglich, *einfach durch Auslese* hier noch wertvolle neue Kombinationstypen zu finden und zu isolieren. Aber um größere Fortschritte zu erzielen, wird man auch hier zielbewußt kreuzen müssen. Ich erinnere nur daran, was es für den deutschen Rebbaubedeutet, wenn es uns gelingt, durch eine Kreuzung unserer Reben mit meltau- und reblausimmunen amerikanischen Rebsorten eine Kombination herauszufinden, welche diese beiden erwünschten Eigenschaften vereinigt mit den guten Beereigenschaften unserer besten europäischen Sorten. Ähnliche Aufgaben ließen sich für alle unsere Obstsorten in großer Zahl nennen. Das Gleiche gilt in fast noch höherem Grade für unsere Blumen und Gemüse.

Der auf diesem Wege mögliche züchterische Fortschritt ist sehr groß. Für unsere Getreidearten dürfte eine etwa 30—40prozentige Steigerung des Durchschnittsertrages unbedingt erreichbar sein. Was das für unsere Volkswirtschaft bedeutet, brauche ich wohl nicht weiter auszuführen.

Wer selbst auf dem Gebiete der Kombinationszüchtung Erfahrung hat, wird sich des Eindrucks nicht erwehren können, daß ungefähr ebensoviel, wie die züchterische Arbeit der letzten 5—6 Jahrtausende uns vorwärts gebracht hat, künftig auf dem von *Mendel* geöffneten Wege in einem Jahrhundert etwa erreicht werden kann.

*Mendel* selbst hat wohl die Tragweite seiner Entdeckung nicht geahnt. Der erste, der auf die ungeheure Wichtigkeit der Mendelschen Gesetze für die Pflanzenzüchtung hinwies, war *E. Tschermak*. Die größten Erfolge in dieser Richtung hat bisher unstreitig *Nilsson-Ehle* erzielt.





# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft.

herausgegeben von

**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W9.

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1922 by Julius Springer in Berlin.

Heft 30. (Seite 647—662)

28. Juli 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Über den Energieumsatz bei der Kohlensäureassimilation. Von *Otto Warburg* und *Erwin Negelein*, Berlin-Dahlem. (Mit 3 Abbildungen.) S. 647.

Die Fernrohre nach Kepler und nach Galilei — ein Vergleich. Von *A. Sonnefeld*, Jena. (Mit 4 Abbildungen.) S. 653.

Besprechungen: Chapman, E. H., The study of the weather. Von *O. Baschin*, Berlin. S. 658.

Kayser, E., Lehrbuch der Geologie. I. und II. Band, 6. Auflage. Von *S. von Bubnoff*, Breslau. S. 658.

Born, A., Allgemeine Geologie und Stratigraphie. II. Band. Von *E. Bederke*, Breslau. S. 659.

Klockmann, F., Lehrbuch der Mineralogie. 7. und 8. Auflage. Von *A. Johnsen*, Berlin. S. 659.

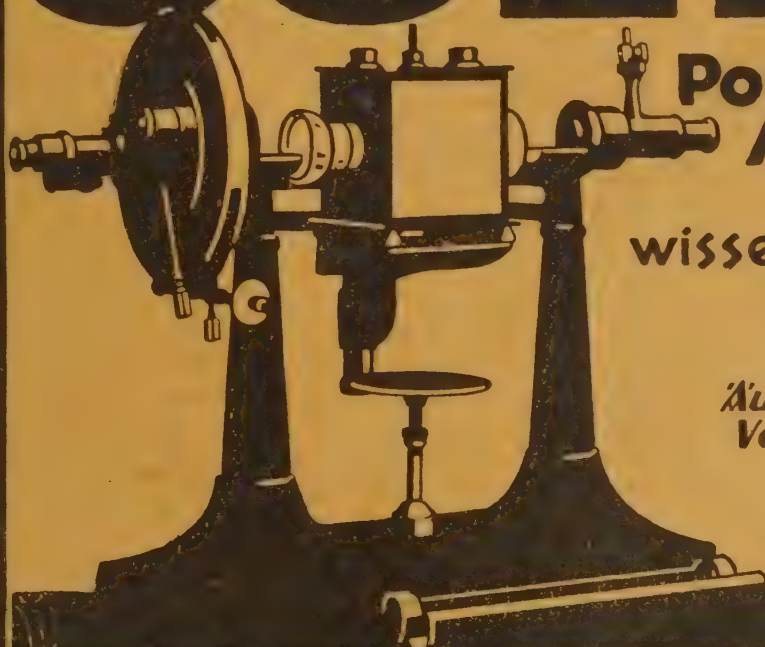
Voltz, Fr., Die physikalischen und technischen Grundlagen der Messung und Dosierung der Röntgenstrahlen. Von *R. Glocker*, Stuttgart. S. 659.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:  
Zur Geschichte des Ammoniakverfahrens. Von *H. Freundlich*, Berlin-Dahlem. S. 660.

Botanische Mitteilungen. S. 660 — 662.

Über die Lebewelt der Nepentheskannen. Über die Reizleitung der Mimosen. Die Darmflora des Menschen. Die Übereinstimmungen zwischen Diatomeen, Heteroconten und Chrysomonaden. Die Samen der Bromeliaceen in ihrer Anpassung an den Epiphytismus. Kritik der Blackmannschen Theorie der begrenzenden Faktoren bei der Kohlensäureassimilation.

# GOERZ



**Polarisations-  
Apparate**  
für  
wissenschaftliche  
Zwecke



*Ausserste Stabilität  
Vorzügliche Optik*



Katalog kostenfrei

**Optische Anstalt C. P. GOERZ Aktiengesellschaft**  
BERLIN-FRIEDENAU

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 100.— für das dritte Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 9.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 9.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 80 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 2020 Julius Springer,  
für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius  
Konten: Springer.

## Die großen Handbücher



von Abderhalden, Abegg, Bredig, Dammer, Doelter, Gmelin-Krauth, Hertwig, Kolle-Wassermann, Lueger, Lunge, Muspratt, Richter, Rubner, Ullmann, Winkelmann u. a. **zur Erleichterung der Anschaffung** gegen bequeme Monats- oder Quartalsraten von (258)

**Hermann Meusser, Buchhandlung**  
Berlin W 57/9, Potsdamer Strasse 75

## Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

**J. D. Möller, Wedel in Holstein.**

Gegründet 1864.

(294)

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

## Die binokularen Instrumente.

Nach Quellen und bis zum Ausgang von 1910 bearbeitet. Von Moritz von Rohr, Dr. phil., wissenschaftlichem Mitarbeiter der optischen Werkstätte von Carl Zeiß in Jena und a. o. Professor an der Universität Jena. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 136 Textabbildungen. (XVII, 303 S.) („Naturwissenschaftliche Monographien und Lehrbücher“, herausgegeben von der Schriftleitung der „Naturwissenschaften“, Bd. II.) 1920.

Preis M. 46.—; gebunden M. 54.—

Vorzugspreis für die Bezieher der „Naturwissenschaften“, M. 42.—; gebunden M. 50.—

## Die Theorie der optischen Instrumente.

Bearbeitet von wissenschaftlichen Mitarbeitern an der optischen Werkstätte von Carl Zeiß. I. Die Bilderzeugung in optischen Instrumenten vom Standpunkte der geometrischen Optik. Bearbeitet von den wissenschaftlichen Mitarbeitern an der optischen Werkstätte von Carl Zeiß: P. Culmann, S. Czapski, A. König, F. Löwe, M. von Rohr, H. Siedentopf, E. Wandersleb. Herausgegeben von Moritz von Rohr. Mit 133 Abbildungen im Text. (XXII, 587 S.) 1904. Preis M. 18.—

## Die Brille als optisches Instrument.

Von Moritz von Rohr, Professor in Jena, Dr. phil., wissenschaftlichem Mitarbeiter bei Carl Zeiß in Jena. Dritte Auflage. Mit 112 Textabbildungen. (XIV, 254 S.) (Aus Graefe-Saemisch, Handbuch der gesamten Augenheilkunde.) 1921. Preis M. 66.—; in Ganzleinen gebunden M. 78.—

Hierzu Teuerungszuschläge



## Über den Energieumsatz bei der Kohlensäureassimilation<sup>1)</sup>.

Von Otto Warburg und Erwin Negelein,  
Berlin-Dahlem.

### I.

Die in grünen Pflanzenzellen absorbierte Strahlungsenergie wird im allgemeinen auf dreierlei Art verwandelt: in Strahlung anderer Frequenz, im sichtbaren Gebiet als Fluoreszenzstrahlung erscheinend, in Wärme und in chemische Energie.

Die Verwandlung in chemische Energie geschieht in dem Vorgang der Kohlensäureassimilation, in dem Traubenzucker und Sauerstoff aus Kohlensäure und Wasser entstehen nach der Gleichung:



worin 674 000 cal. die Zunahme der Gesamtenergie bedeutet, wenn sich der Vorgang von links nach rechts abspielt.

Wir haben uns die Frage gestellt, welcher Bruchteil der absorbierten Strahlungsenergie bei der Kohlensäureassimilation in chemische Energie verwandelt werden kann, eine oft diskutierte, bisher jedoch, wie uns schien, nicht beantwortete Frage.

Bezeichnen wir die absorbierte Strahlungsenergie mit  $E$ , die gleichzeitig geleistete chemische Arbeit — die Zunahme der Gesamtenergie — mit  $U$ , so ist es der Quotient  $U/E$ , der uns interessiert, und zwar  $U/E$  unter einer besonderen Bedingung.

Tragen wir die pro Sekunde absorbierte Strahlungsenergie auf der Abszisse, die pro Sekunde geleistete chemische Arbeit auf der Ordinate auf, so erhalten wir (Fig. 1) eine nach der Abszissenachse zu gekrümmte Kurve. Das Verhältnis  $U/E$  ändert sich also mit der Intensität der absorbierten Strahlung. Je intensiver die Strahlung, um so geringer ist der in chemische Energie verwandelte Bruchteil.  $U/E$ , das mit wachsender Intensität unbegrenzt kleiner wird, nähert sich mit sinkender Intensität einem Grenzwert. Dieser Grenzwert ist es, dessen Bestimmung wir uns zum Ziel gesetzt haben, der Energieumsatz bei sehr kleinen Intensitäten, genauer ausgedrückt  $\lim_{E \rightarrow 0} \frac{dU}{dE}$  für  $E = 0$ .

Verschieden von unserer Frage ist die praktisch wichtige Frage, wieviel nutzbare chemische

<sup>1)</sup> Nach einem in Dahlem am 22. 5. gehaltenen Vortrag. Die ausführliche Arbeit erscheint in der Zeitschrift für physikalische Chemie.

Energie in der Natur aus dem absorbierten Tageslicht gewonnen wird, ein Problem, das nicht durch Laboratoriumsversuche gelöst werden kann und das in jeder Hinsicht anders angefaßt werden muß als das unsrige.

Die Versuche wurden in dem Laboratorium von Herrn Emil Warburg in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt begonnen, wo wir, insbesondere unterstützt von Herrn Carl Müller, die Methode der Strahlungsmessung gelernt haben.

Wir haben als Versuchsobjekt eine einzellige Grünalge, *Chlorella vulgaris*, benutzt. Wir haben die Größe  $E$  unseres Quotienten, die absorbierte Strahlung, mittels eines Flächenbolometers gemessen, die Größe  $U$ , die geleistete chemische Arbeit, mittels eines Manometers, an dem die bei Bestrahlung entwickelten Sauerstoffmengen abgelesen werden konnten.

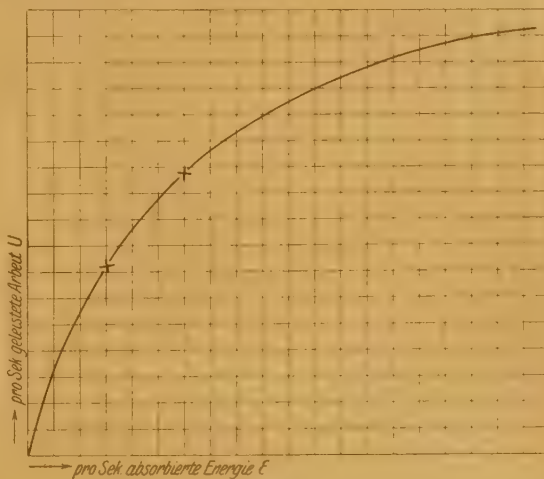


Fig. 1.

### II.

Sitz des Assimilationsvorgangs in der Pflanzenzelle sind besondere Organe, die Chromatophoren, in denen die assimilatorisch wirksame Strahlung absorbiert wird und in denen die Endprodukte der Assimilation, Zucker und Sauerstoff, erscheinen. Dieses Organ, das in verschiedenartigen Formen auftritt, hat in unserer Alge die Form einer Glocke, die der Wand der runden, im Durchmesser etwa  $3\mu$  starken Zelle anliegt. Es enthält dasselbe Farbstoffgemisch, das Willstaetter<sup>1)</sup> in allen grünen Zellen antraf, das grüne Chlorophyll, das gelbe Carotin und das gelbe Xanthophyll. Die gelben Farbstoffe absorbieren merk-

<sup>1)</sup> Willstaetter u. Stoll, Untersuchungen über Chlorophyll, Berlin 1913.

lich nur im Blau, das Chlorophyll in dem gesamten Bereich des sichtbaren Spektralgebietes, am stärksten im Blau und im Rot, wo zwischen 645 und 670  $\mu$  die bekannte scharfe Chlorophyllbande liegt. Die Absorption in dem unsichtbaren Spektralgebiet ist für uns ohne Interesse, da bisher, mittels einwandfreier Methoden, nur im sichtbaren Gebiet assimilatorische Wirkung beobachtet wurde.

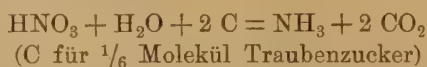
Nach einer bekannten Entdeckung von Willstaetter enthält das Chlorophyll Magnesium. Wird das Magnesium abgespalten, so bleibt ein wenig gefärbter Rest zurück, das Willstaetter'sche Phäophytin, das sich mit Metallsalzen wieder leicht zu tiefgefärbten Stoffen vereinigt. In dieser farbvertiefenden Wirkung sehen wir die Bedeutung des Magnesiums für den Assimilationsvorgang. Indem das Magnesium in den organischen Rest eintritt, wird das Absorptionsspektrum breiter und tiefer, es vermehren sich die Anregungsmöglichkeiten.

### III.

Die Verwandlung von strahlender in chemische Energie in dem Chromatophor ist ein streng spezifischer Vorgang, das heißt, absorbierte Strahlungsenergie kann allein zur Reduktion der Kohlensäure, nicht aber zur Reduktion anderer Stoffe verwendet werden.

Die Behauptung, daß allein Kohlensäure photochemisch reduziert werde, scheint zunächst im Widerspruch zu dem zu stehen, was wir beim Wachstum der Zelle beobachten. Die Zelle wächst, wenn wir sie in einer kohlenstoffhaltigen Lösung anorganischer Salze bestrahlen. Die Substanz, die hierbei entsteht, enthält Wasserstoff, der aus dem Wasser der Nährlösung stammt, zum Beispiel in den  $\text{CH}_2$ -Gruppen der Fettsäuren, und Stickstoff, der aus dem Nitrat der Nährlösung stammt, zum Beispiel in den Amidgruppen des Eiweißmoleküls. Es muß also neben Kohlensäure auch Wasser und Nitrat reduziert werden, und in der Tat findet man, wenn man unter Ausschluß von Kohlensäure bestrahlt, eine langsame Entwicklung von Sauerstoff aus Wasser und Nitrat.

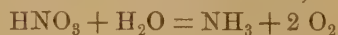
Indessen läßt sich zeigen<sup>1)</sup>, daß sich Vorgänge dieser Art unter Vermittlung der Kohlensäure abspielen. Betrachten wir beispielsweise die Bildung von Amidstickstoff, so haben wir zunächst die Dunkelreaktion



und darauf folgend die photochemische Reaktion

$$2 \text{CO}_2 = 2 \text{C} + 2 \text{O}_2$$

Addieren wir beide Gleichungen, so fällt die Kohlensäure aus der Bilanz heraus, wir erhalten



<sup>1)</sup> O. Warburg u. E. Negelein, Bioch. Zeitschrift 110, 66 (1920).

und wir haben scheinbar eine photochemische Reduktion von Wasser und Salpetersäure.

Derartige Vorgänge bewirken — und darauf kommt es hier an —, daß eine bestrahlte Zelle an die Umgebung mehr Sauerstoff abgibt, als sie Kohlensäure aus der Umgebung aufnimmt. Die Verhältnisse liegen in unserem Fall so, daß die Alge 10 Moleküle Sauerstoff abgibt, während sie gleichzeitig nur 9 Moleküle Kohlensäure aufnimmt. Von diesen 10 Molekülen Sauerstoff stammen also 9 aus von außen aufgenommener Kohlensäure, 1 Molekül aus intrazellulär gebildeter Kohlensäure.

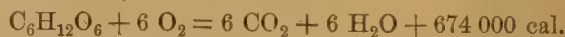
Es ist notwendig, daß in bezug auf diese Verhältnisse Klarheit herrscht. Denn wir haben die chemische Arbeit aus der entwickelten Sauerstoffmenge berechnet unter der Annahme, daß ebenso viele Moleküle Kohlensäure gespalten, als Sauerstoffmoleküle entwickelt worden waren.

### IV.

Neben der Verwandlung von strahlender in chemische Energie haben wir in der Zelle eine zweite Art von Energieverwandlung, die Verwandlung von chemischer Energie in Wärme, auf dem Umweg über noch nicht näher bekannte Energieformen. Während sich die Verwandlung erster Art in einem gesonderten Organ der Zelle bei Bestrahlung abspielt, findet die Verwandlung zweiter Art, die *Atmung*, in allen Teilen der Zelle und zu jeder Zeit statt.

Die Bedeutung der Kohlensäureassimilation für die organische Welt ist einfach und klar. Der Sinn der Atmung ist komplizierter und dunkler. Es mag hier die Bemerkung genügen, daß die lebende Zelle ein instabiles, mit merklicher Geschwindigkeit einem Gleichgewichtszustand zustrebendes System ist, das nur unter Aufwand von Arbeit erhalten werden kann. Das energetische Äquivalent dieser Arbeit ist die in der Atmung verbrauchte chemische Energie.

Die Gleichung der Atmung in unserem Fall lautet:



ein in der Bilanz der Kohlensäureassimilation genau entgegengesetzter Vorgang. Da es in keiner Weise gelingt, beide Vorgänge so zu trennen, daß nur die Assimilation übrigbleibt, so haben wir es bei unseren Versuchen immer mit beiden Vorgängen zu tun, eine Messung der Assimilation setzt die Kenntnis der Atmung voraus. Es ergibt sich so die Anordnung eines Assimilationsversuchs. Wir messen zunächst die Atmung getrennt von der Assimilation, das heißt den Sauerstoffverbrauch im Dunkeln, und darauf den Sauerstoffwechsel bei Bestrahlung. Aus der Kombination beider Messungen, die auf gleiche Zeiten bezogen werden, finden wir die durch Bestrahlung entwickelte Sauerstoffmenge.

Bei diesem Verfahren wird vorausgesetzt, daß die Atmung während der Bestrahlung ebenso



groß ist, wie vor der Bestrahlung im Dunkeln, eine Voraussetzung, die aus folgendem Grund nicht korrekt ist. Bringen wir in die anorganische Lösung, in der unsere Algen suspendiert sind, Traubenzucker, so dringt er in die Zelle ein und bewirkt hier, indem er die Konzentration an verbrennlicher Substanz vermehrt, einen Anstieg der Atmung. Bestrahlen wir, so bildet sich in dem Chromatophor Zucker, der alsbald in die Zelle hineindiffundiert und hier, wie der von außen eingeführte Zucker, die Atmung beschleunigt. Man kann diese Wirkung der Bestrahlung auf die Atmung leicht nachweisen, indem man einige Zeit im Dunkeln gehaltene Zellen bestrahlt und dann wieder verdunkelt. Man findet dann, daß die Atmung nach der Bestrahlung größer ist, als sie vorher im Dunkeln war, und daß sie im Dunkeln allmählich wieder absinkt. Die Atmung wird also während der Bestrahlung größer sein als nach der Bestrahlung, der Zeit, in der wir sie messen. Indem wir aber für die Belichtungszeit eine zu kleine Atmung einsetzen, finden wir die geleistete chemische Arbeit kleiner als sie tatsächlich ist.

Man kann diesen Fehler nicht ganz beseitigen, aber dadurch wesentlich verkleinern, daß man Bestrahlungs- und Verdunkelungsperioden fortgesetzt in kurzen Abständen folgen läßt. Man schafft so einigermaßen stationäre Verhältnisse in der Zelle, die Zuckerkonzentrationen schwanken weniger als im Laufe langer Perioden.

## V.

Als Strahlungsquelle benutzten wir eine Metallfadenlampe mit Stickstofffüllung. Aus der Strahlung dieser Lampe nahmen wir mittels Ferro- und Kupfersulfat Rot und Ultrarot, mit Hilfe von Anilinfarbstoffen Blau und Grün heraus und verwandten im allgemeinen nur den von 570 bis 645  $\mu$  reichenden Spektralbezirk, das ist Gelb und Gelbrot. Nach dem, was wir über die Absorption in dem Chromatophor erfahren haben, ist dies ein Bezirk, in dem von den drei Farbstoffen allein das Chlorophyll absorbiert, und zwar liegen die dunkeln Absorptionsbanden des Chlorophylls außerhalb unseres Spektralbezirks.

Die Strahlung, die mittels eines Regulierwiderstandes auf 1% konstant gehalten wurde, trat in horizontaler Richtung in einen Wasserthermostaten ein und traf hier auf einen um 45° gegen die Horizontale geneigten Spiegel, der sie senkrecht nach oben reflektierte. (Fig. 2.) In einer genau festgelegten Horizontalebene des Thermostaten befand sich die Blende des Bolometers, durch die Intensität der Strahlung in der genannten Ebene gemessen wurde. Hierbei bedienten wir uns einer von Emil Warburg<sup>1)</sup> angegebenen Schaltung, bei der die in der Brücke auftretende Potentialdifferenz mittels eines zwei-

ten Stromkreises kompensiert wurde, das Galvanometer also nur als Nullinstrument gebraucht wurde. Wir eichten das Bolometer mit der Hefnerlampe nach Gerlach<sup>1)</sup> und erhielten die gesuchte Intensität in cal./Sek./qcm mit einer Genauigkeit von etwa 1%.

War die Intensität gemessen, so ersetzten wir das Bolometer durch den Assimilationstrog, ein Glasgefäß, dessen Seitenwände versilbert und zum Schutz des Silberspiegels verkupfert waren. Der Trog war zu  $\frac{2}{3}$  mit einer Suspension grüner Zellen gefüllt. Sein nicht versilberter Boden kam genau an die Stelle des Thermostaten, an der sich vorher die Bolometerblende befunden hatte. Bei bekannter Grundfläche  $F$  des Troges und einer Bestrahlungszeit von  $t$  Sekunden war somit die in den Trog eingestrahelte Energie  $IFt$  cal.

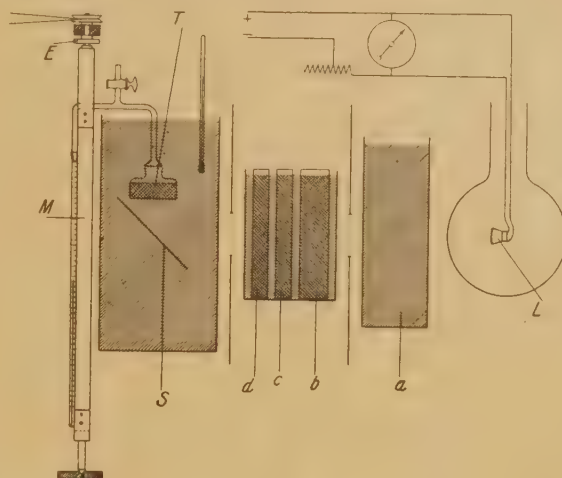


Fig. 2.  $L$  Lampe.  $a$  Küvette mit fließendem Wasser.  $b$  Küvette mit 20% Ferrosulfat, Schichtdicke 2 cm.  $c$  Küvette mit 12% Kupfersulfat, Schichtdicke 1 cm.  $d$  Küvette mit 0,02% Tartrazin, 0,02% Rose bengale, Schichtdicke 1 cm.  $S$  Spiegel.  $T$  Assimilationstrog.  $M$  Manometer.  $E$  Exzentrisscheibe.

Da jede Zelle Licht nicht nur absorbiert, sondern auch bricht, reflektiert und zerstreut, so wird der Strahlengang in der Zellsuspension ungeordnet, und das diffus austretende Licht kann nicht gemessen werden. Die Schwierigkeit, die sich so der Absorptionsmessung entgegenstellte, haben wir umgangen, indem wir mit vollständiger Absorption arbeiteten, das heißt, wir füllten eine so dichte Zellsuspension in den Trog ein, daß die gesamte eingestrahelte Energie absorbiert wurde. Der Beweis vollständiger Absorption wurde auf zwei Arten erbracht. Erstens hatte eine Vermehrung der Zelldichte keine Folge, unsere Ausschläge waren unabhängig von der Zelldichte. Zweitens zogen wir den Farbstoff mit Alkohol aus und brachten die klare alkoholische Lösung — in der fraglichen Konzentration und Schichtdicke — zwischen Bolometer und Lampe. Das Bolometer

<sup>1)</sup> E. Warburg, G. Leithäuser, E. Hupka, C. Müller, Ann. der Physik, 4. Folge, Bd. 40, 609 (1913).

<sup>1)</sup> Gerlach, Phys. Zeitschr. 14, 577 (1903).

zeigte dann keinen Ausschlag, zum Zeichen, daß die Absorption praktisch vollständig war. Wir fanden also die *absorbierte* Energie, indem wir sie gleich der *eingestrahnten* setzten.

Bei diesem Verfahren vernachlässigten wir die Lichtmengen, die infolge von Reflexion und Zerstreuung durch den Boden des Troges wieder austraten. Wir haben Grund zu der Annahme, daß diese Mengen relativ klein waren, daß wir also ohne merklichen Fehler eingestrahlte und absorbierte Energie gleichsetzen durften. Traf diese Annahme nicht zu, so haben wir für die absorbierte Energie einen zu großen Wert eingesetzt, das Verhältnis  $U/E$  also kleiner gefunden, als es tatsächlich war.

Wird die Strahlung vollständig absorbiert, so sinkt auf dem Weg durch den Trog ihre Intensität von  $I$ , der Intensität an der Eintrittsstelle, bis auf einen unmerklich kleinen Wert herab, und wir messen die Assimilation bei Intensitäten, die zwischen  $I$  und Null liegen. Denken wir uns den Inhalt des Troges durch horizontale Schnitte in kleine Scheiben von der Höhe  $dx$  zerlegt, so nimmt die pro Scheibe absorbierte Lichtmenge — mithin auch die photochemische Wirkung — von unten nach oben ab, während die Atmung in den Scheiben verschiedener Höhe nahezu gleich ist. Wir haben also in dem Trog ein veränderliches Verhältnis von Assimilation zu Atmung, in den untersten Schichten überwiegt die Assimilation, in den obersten die Atmung. Die Assimilation in dem *ganzen* Trog ist gleich der Summe der Assimilation in den einzelnen Scheiben, und das entsprechende gilt von der Atmung in dem *ganzen* Trog.

Was wir messen, sind diese Summen, und es ist aus methodischen Gründen wünschenswert, daß das Verhältnis der Summen, Assimilation im *ganzen* Trog : Atmung im *ganzen* Trog, nicht zu klein ist. Die Intensität der Strahlung an der Eintrittsstelle muß deshalb, wie eine einfache Rechnung lehrt, relativ hoch sein. Andererseits interessiert uns, wenn wir uns an unsere Aufgabe erinnern, allein die Assimilation bei niedrigen Intensitäten. Auf Grund dieser Überlegungen wird man einen Mittelweg einschlagen und die Intensität an der Eintrittsstelle so wählen, daß die Assimilation neben der Atmung noch mit hinreichender Genauigkeit gemessen werden kann.

Dieser Bedingung genügten Intensitäten von  $0,2 \times 10^{-4}$  bis  $0,4 \times 10^{-4}$  cal/Sek/qcm, das ist etwa der 1000ste Teil der Intensität der Sonnenstrahlung auf der Erdoberfläche. Bestrahlten wir mit diesen Intensitäten, so betrug die Assimilation in den untersten Schichten des Troges das 5- bis 10fache der Atmung, die Assimilation in dem *ganzen* Trog  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{1}{4}$  der Atmung in dem *ganzen* Trog. Hierbei waren die Intensitäten hinreichend klein, und wir konnten, wenn wir zwei Messungen bei zwei verschiedenen Intensitäten machten, die Werte für die Intensität Null durch Interpolation finden.

Soviel über die Strahlung, ihre Messung, ihre Absorption und ihre Intensität.

## VI.

Zur Messung der chemischen Arbeit, der Größe  $U$  unseres Quotienten, wurde der Assimilationstrog, nach Füllung mit kohlensäurehaltiger Luft, mit dem einen Schenkel eines Barcroftschen Differentialmanometers<sup>1)</sup> verbunden. (Fig. 3.) An dem anderen Manometerschenkel befand sich ein ähnlicher Trog, der an Stelle der Zellsuspension zellfreie Salzlösung enthielt. Bei dieser Anordnung zeigte das Manometer nur solche Druckänderungen an, die von der Tätigkeit der Zellen herrührten, während Schwankungen der Temperatur und des Atmosphärendrucks ohne Einfluß auf den Stand des Manometers waren.

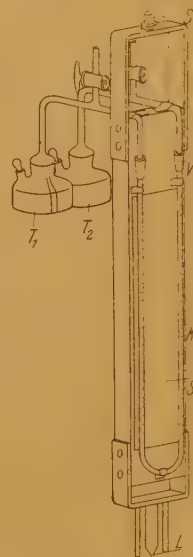


Fig. 3. K Manometerkapillare. V Verbindungsschloß. T<sub>1</sub> Trog, mit Zellsuspension und kohlensäurehaltiger Luft gefüllt. T<sub>2</sub> Trog, mit Salzlösung und kohlensäurehaltiger Luft gefüllt. St Stift, der in das Loch der Exzenterscheibe paßt. L Spitzenlager. S Spiegel.

Die mit dem Manometer verbundenen Tröge wurden mittels einer Exzenterscheibe — bei kleinen Exkursionen, jedoch hohen Tourenzahlen — schnell geschüttelt, so daß Gas- und Flüssigkeitsphase in jedem Augenblick nahezu im Gleichgewicht waren. Die Temperatur des Thermostaten war hierbei  $10^{\circ}$  und wurde auf einige  $\frac{1}{100}$  Grade konstant gehalten.

Wird in dem Trog Sauerstoff in Kohlensäure verwandelt, so nimmt der Druck ab, weil Kohlensäure in Wasser leichter löslich ist als Sauerstoff. Wird Kohlensäure in Sauerstoff verwandelt, so nimmt aus dem gleichen Grund der Druck zu. Kennt man die Volumina der gasförmigen und flüssigen Phase, so ergibt die Anwendung der Gasgesetze und des Henryschen Absorptionsgesetzes einen einfachen Ausdruck für die um-

<sup>1)</sup> Barcroft, Journ. of Physiol. 37, 12 (1908).



gesetzte Sauerstoffmenge, die einer Druckänderung von einem Millimeter entspricht.

Da die Entwicklung eines Mols Sauerstoff einer chemischen Arbeit von 112 300 cal. entspricht, so war, wenn  $v$  ccm Sauerstoff entwickelt waren:

$$U = v \cdot \frac{112\,300}{22\,400} \text{ cal.}$$

Was die Genauigkeit der Messungen anbetrifft, so hing alles davon ab, ob es gelang, die Atmung hinreichend stationär zu halten. War das der Fall, so wurde die Atmung in Perioden von 5 Minuten, die photochemische Wirkung in Perioden von 10 Minuten bestimmt und  $v$  mit einer Genauigkeit von 5 % erhalten. Dies also war der Fehler bei der Messung der Größe  $U$ , der als solcher in den Quotienten  $U/E$  einging. Der Fehler bei der Messung der Größe  $E$  — mit 1 % — war hiergegen klein.

## VII.

Einige Resultate sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle.

Spektralbezirk  $\lambda = 570 - 645 \mu\mu$  · Bestrahlte Fläche ( $F$ )  
= 14 qcm · Bestrahlungszeit ( $t$ ) = 600 Sek.

| Nr. | $I$<br>Auffallende<br>Intensität<br>(cal/qcm/Sek) | $E$<br>= $I F t$<br>in $t$ Sek<br>absorbierte<br>Energie<br>(cal) | $v$<br>in $t$ Sek<br>entwickelt.<br>Sauerstoff<br>(cm) | $U$<br>(cal)   | $\frac{U}{E} \cdot 100$ | $\lim \frac{dU}{dE}$<br>$E = 0$ |
|-----|---|---|--|----------------|-------------------------|---------------------------------|
| 1   | $0,162 \cdot 10^{-4}$<br>$0,327 \cdot 10^{-4}$    | 0,136<br>0,275  | 15,4<br>23,0   | 0,078<br>0,116 | 57<br>42                | 72                              |
| 2   | $0,203 \cdot 10^{-4}$<br>$0,406 \cdot 10^{-4}$    | 0,171<br>0,341  | 19,0<br>30,8   | 0,096<br>0,155 | 56<br>45                | 67                              |
| 3   | $0,212 \cdot 10^{-4}$<br>$0,424 \cdot 10^{-4}$    | 0,178<br>0,356  | 21,0<br>32,4   | 0,106<br>0,163 | 60<br>46                | 73                              |
| 4   | $0,215 \cdot 10^{-4}$<br>$0,430 \cdot 10^{-4}$    | 0,181<br>0,362  | 19,7<br>29,2   | 0,099<br>0,147 | 55<br>41                | 69                              |
| 5   | $0,215 \cdot 10^{-4}$<br>$0,430 \cdot 10^{-4}$    | 0,181<br>0,362  | 20,3<br>34,1   | 0,102<br>0,172 | 56<br>48                | 66                              |
| 6   | $0,197 \cdot 10^{-4}$<br>$0,389 \cdot 10^{-4}$    | 0,166<br>0,327  | 19,6<br>36,2   | 0,099<br>0,183 | 60<br>56                | 64                              |
| 7   | $0,202 \cdot 10^{-4}$<br>$0,397 \cdot 10^{-4}$    | 0,169<br>0,334  | 24,0<br>34,3   | 0,121<br>0,173 | 72<br>52                | 92                              |
| 8   | $0,182 \cdot 10^{-4}$<br>$0,358 \cdot 10^{-4}$    | 0,153<br>0,301  | 18,2<br>28,5   | 0,092<br>0,144 | 60<br>48                | 72                              |
| 9   | $0,178 \cdot 10^{-4}$<br>$0,350 \cdot 10^{-4}$    | 0,149<br>0,295  | 17,0<br>32,2   | 0,086<br>0,162 | 58<br>55                | 60                              |
| 10  | $0,178 \cdot 10^{-4}$<br>$0,350 \cdot 10^{-4}$    | 0,149<br>0,295  | 19,4<br>36,9   | 0,098<br>0,186 | 66<br>63                | 68                              |
| 11  | $0,173 \cdot 10^{-4}$<br>$0,343 \cdot 10^{-4}$    | 0,145<br>0,288  | 20,5<br>34,3   | 0,103<br>0,173 | 71<br>60                | 83                              |
| 12  | $0,175 \cdot 10^{-4}$<br>$0,347 \cdot 10^{-4}$    | 0,147<br>0,291  | 16,8<br>29,2   | 0,085<br>0,147 | 58<br>51                | 65                              |

Mittel: 71

Wir finden in der ersten Spalte die Intensität  $I$  an der Eintrittsstelle in den Trog, in der zweiten Spalte das Produkt  $I F t$ , die in der Bestrahlungszeit absorbierte Energie  $E$ . Es folgt in der dritten Spalte die in der Bestrahlungszeit entwickelte Sauerstoffmenge  $v$ , in der vierten Spalte die hieraus berechnete chemische Arbeit  $U$ . In der fünften Spalte stehen die Werte  $U/E$  für die Intensitäten der Versuche, in der letzten Spalte die durch Interpolation für die Intensität Null berechneten Grenzwerte,  $\lim \frac{dU}{dE}$  für  $E = 0$ .

Es ergibt sich aus der Tabelle, daß im Mittel etwa 70 % der absorbierten Strahlungsenergie in chemische Energie umgewandelt werden können. Der höchste bisher gemessene Wert liegt, nach einer Angabe von Brown und Escombe<sup>1)</sup>, um 6 %. Indessen sind die Versuche von Brown und Escombe, die mit andern Objekten und mit Strahlung von anderer spektraler Zusammensetzung angestellt wurden, mit den unsrigen kaum vergleichbar.

Erinnern wir uns, daß wir zwei Fehler begehen, die den Wert unserer Quotienten herabdrücken — von denen der eine mit der Atmungsmessung, der andere mit der Absorptionsmessung zusammenhängt —, so müssen wir die Werte der Tabelle als Minimalwerte betrachten. Die Ausbeuten an chemischer Energie waren möglicherweise größer, als es den Anschein hat.

Vielleicht ist es nicht ohne Interesse, den Energieumsatz bei der Kohlensäureassimilation mit dem Energieumsatz bei einfachen anorganischen Reaktionen zu vergleichen. Nach den Untersuchungen von Emil Warburg<sup>2)</sup> wird bei der Ozonisierung des Sauerstoffs durch die Wellenlänge 209  $\mu\mu$  (Tabelle 2) 50 % der absor-

Tabelle.

$\lambda = 209 \mu\mu$

| Reaktion                       | $\frac{U}{E} \times 100$ |
|--------------------------------|--------------------------|
| $3 O_2 = 2 O_3$                | 50                       |
| $2 H Br = H_2 + Br_2$          | 18                       |
| $2 H J = H_2 + J_2$<br>(gasf.) | 2,1                      |

bierten Strahlung in chemische Energie umgesetzt, bei der Spaltung der Bromwasserstoffsäure und der Jodwasserstoffsäure durch die gleiche Wellenlänge 18 bzw. 2 %. Eine höhere Ausbeute an chemischer Energie, als im Fall der Ozonisierung des Sauerstoffs, ist unseres Wissens bisher nicht gemessen worden.

<sup>1)</sup> Brown u. Escombe, Proceed. Roy. Soc. Lond. Ser. B. 76, 24 (1905).

<sup>2)</sup> E. Warburg; Zeitschr. f. Elektrochemie 26, 54 (1920).

## VIII.

Die nächste Aufgabe ist es nunmehr, das Verhältnis  $U/E$  in verschiedenen Spektralbezirken zu messen. Versuche in dieser Richtung sind begonnen<sup>1)</sup>, jedoch noch nicht abgeschlossen. Die Schwierigkeit liegt in der Beschaffung einer Lichtquelle von hoher Flächenhelligkeit, die bei spektraler Zerlegung schmale Bezirke hinreichender Intensität liefert und die lange Zeit konstant brennt.

Immerhin lassen die bisher vorliegenden Versuche erkennen, daß in den Spektralbezirken, in denen die Chromatophorenfarbstoffe am stärksten absorbieren, im Blau und in dem erwähnten Bezirk des Rot,  $U/E$  nicht größer, wahrscheinlich aber etwas kleiner ist als im Gelb und Gelbrot.  $U/E$  würde dann in der Nähe des Gelb ein flaches Maximum zeigen, ähnlich wie die Intensität der Sonnenstrahlung auf der Erdoberfläche.

## IX.

Bei Betrachtung der Tabelle fällt auf, daß der Quotient  $U/E$  Schwankungen unterworfen ist, die außerhalb der Fehlergrenzen liegen. Viel größer waren die Schwankungen im Gesamtverlauf der etwa 2000 Versuche, indem wir anfangs wenig mehr als 20 % fanden. Der Energieumsatz ist also in hohem Maß veränderlich mit dem Zustand der Zelle, und es erhebt sich die Frage, ob wir die Bedingungen angeben können, unter denen der eine oder andere dieser verschiedenartigen Zustände entsteht.

Die Bedingung, auf die es hier in erster Linie ankommt, ist eine einfache. Züchten wir bei hohen Lichtstärken — etwa in 10 cm Entfernung von einer 75-Watt-Lampe —, so entstehen Zellen, die nur einen geringen Bruchteil der absorbierten Strahlungsenergie in chemische Energie verwandeln können. Züchten wir bei niedriger Lichtstärke — in 30 cm Entfernung von einer 75-Watt-Lampe —, so entstehen Zellen, die einen großen Bruchteil der absorbierten Strahlungsenergie in chemische Energie verwandeln können. Man wird in diesem Verhalten eine zweckmäßige Anpassung an äußere Verhältnisse sehen, da offenbar das Interesse der Zelle an der Ausnutzung der eingestrahnten Energie um so größer ist, je weniger Energie ihr in der Zeiteinheit zugeführt wird.

Läßt man hellgezüchtete Zellen bei niedriger Lichtstärke weiterwachsen, so ändert sich ihre chemische Zusammensetzung im Lauf weniger Tage, ihre Substanz wird prozentisch reicher an Chlorophyll. Aus Lichtpflanzen sind „Schattenspflanzen“ geworden, die als feiner schwarzer Sand den Boden der Kulturgefäße bedecken. Dies ist der Zustand, in dem die absorbierte Strahlung am besten ausgenutzt werden kann. Dauernd bei niedriger Lichtstärke gezüchtet, degenerieren diese Zellen, sie verkleben und wachsen merklich

langsamer. Man darf deshalb die bei niedriger Lichtstärke gewachsenen Zellen nicht zur Nachzucht benutzen, sondern man hält am besten eine Stammkultur bei hellem Tageslicht, läßt von hier aus abgezweigte Kulturen etwa acht Tage bei schwacher Beleuchtung wachsen und mißt dann den Energieumsatz. Tut man das, so wird man immer Material haben, das den größeren Teil der absorbierten Strahlungsenergie in chemische Energie verwandeln kann.

## X.

Können wir uns durch Variation der Kulturbedingungen Organismen verschaffen, die absorbierte Energie in verschiedenem Maße ausnutzen, so ist es andererseits auch möglich, den Energieumsatz eines gegebenen Organismus direkt zu beeinflussen. Wie bisher, so haben wir im folgenden nur den Energieumsatz bei niedrigen Bestrahlungsintensitäten im Auge, sehen also von den besonderen Faktoren, die den Energieumsatz bei hohen Intensitäten bestimmen, völlig ab.

Bringen wir gewisse chemisch indifferente Stoffe in das Chromatophor hinein, so sinkt die Ausbeute an chemischer Energie, um so mehr, je ausgesprochener diese Stoffe die Eigenschaft haben, an Grenzflächen adsorbiert zu werden. Entfernen wir sie wieder aus dem Chromatophor, so wird der Energieumsatz alsbald wieder normal.

Derartige und andere Versuche, auf die wir hier nicht eingehen, führen zu der Auffassung<sup>1)</sup>, daß wir es mit einem Vorgang an Grenzflächen zu tun haben. Wir wollen diese Auffassung folgendermaßen präzisieren: Die in Wasser unlöslichen Chromatophorenfarbstoffe sind mit dem farblosen Gerüst des Chromatophors zu einem festen Adsorbens verbunden. An der Grenze dieses gefärbten Adsorbens gegen den farblosen wässrigen Inhalt des Chromatophors ist die Kohlensäure — in einer noch nicht näher bekannten Form<sup>2)</sup> — adsorbiert. Hier, in der Grenzschicht, wird die von den Farbstoffen aufgenommene Energie auf die Kohlensäure übertragen. Es ist damit zunächst die Tatsache erklärt, daß gelöste oder kolloidal verteilte Chromatophorenfarbstoffe nicht imstande sind, bei Bestrahlung Kohlensäure zu spalten. Der Versuch, mit Hilfe vom Chromatophor abgelöster Farbstoffe Kohlensäure zu reduzieren, verlief, so oft er unternommen wurde, negativ.

Betrachten wir die Vorgänge, die sich in der genannten Grenzschicht abspielen,

<sup>1)</sup> O. Warburg, Die Naturwissenschaften 1921, Heft 18; Zeitschrift f. Elektrochemie 28, 70 (1922).

<sup>2)</sup> In einem langsam verlaufenden chemischen Dunkelvorgang, der sogenannten Blackmannschen Reaktion, wird die Kohlensäure, nachdem sie in die Zelle hineindiffundiert ist, zunächst verändert, und zwar offenbar so, daß aus  $\text{CO}_2$  oder  $\text{H}_2\text{CO}_3$  ein stärker adsorbierbarer Stoff entsteht. Die Blackmannsche Reaktion bestimmt den Umsatz in chemische Energie bei hohen Bestrahlungsintensitäten, das heißt unter Bedingungen, von denen in dieser Arbeit nicht die Rede ist.

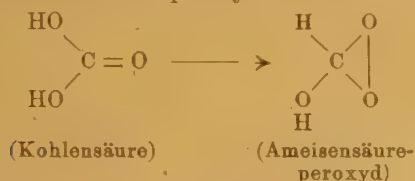
<sup>1)</sup> Vgl. C. Müller u. O. Warburg, Tätigkeitsbericht der Physikal.-Technischen Reichsanstalt, 1920, S. 3.



etwas näher, so ergibt zunächst die Anwendung der Quantentheorie, *wieviele* Energie von einem Farbstoffmolekül bei der Absorption aufgenommen wird. Bei Bestrahlung mit Natriumlicht, dessen Wellenlänge etwa dem Schwerpunkt der von uns angewandten Strahlung entsprechen dürfte, ist der fragliche Energiebetrag 49 000 cal. (wobei wir der Übersichtlichkeit wegen  $h \cdot \nu$  mit der Avogadroschen Zahl multiplizieren). Dies also ist die Energie, die ein Mol Chlorophyll bei der Absorption von Natriumlicht aufnimmt.

Um ein Mol Kohlensäure nach der Assimilationsgleichung zu reduzieren, ist eine Energiezufuhr von 112 300 cal. erforderlich, woraus folgt, daß ein Kohlensäuremolekül mit mindestens drei Farbstoffmolekülen in Wechselwirkung treten muß. Wie man sich den Vorgang der Energieübertragung im einzelnen auch denken mag, jedenfalls verläuft er unter geeigneten Bedingungen so, daß der größere Teil der absorbierten Strahlungsenergie von dem Kohlensäuremolekül aufgenommen und in ihm zur Leistung chemischer Arbeit benutzt wird. *Insbesondere ist hier für Zwischenreaktionen von erheblicher Wärmetönung kein Raum.*

Willstaetter<sup>1)</sup> hat die Vermutung ausgesprochen, daß bei der Kohlensäureassimilation aus Kohlensäure oder einem Kohlensäurederivat zunächst Ameisensäureperoxyd entstehe:



Die Abspaltung des Peroxydsauerstoffes würde Formaldehyd, die Kondensation des Formaldehyds würde Traubenzucker liefern, beides freiwillig verlaufende, mit kleiner Wärmetönung verbundene Reaktionen. Die chemische Arbeit wird bei dem ersten Vorgang geleistet, bei dem *innerhalb des Kohlensäuremoleküls* eine Umlagerung von Atombindungen erfolgt. Dies ist ein von Kohlensäure zum Traubenzucker führender Weg, auf dem — so wie wir es verlangen — Zwischenreaktionen von erheblicher Wärmetönung nicht vorkommen.

## XI.

Die bei der Absorption aufgenommene Energie steht einem Molekül nur für kurze Zeit in freiverwandelbarer Form zur Verfügung. Diese Zeit, die sogenannte „Lebensdauer“ des energiereichen Moleküls, schätzt man im allgemeinen auf  $10^{-8}$  Sekunden. Trifft ein Chlorophyllmolekül innerhalb dieser kurzen Zeit nicht auf ein Kohlensäuremolekül, so ist die absorbierte Strahlungsenergie für die chemische Arbeitsleistung verloren.

Soll also die absorbierte Energie möglichst vollständig ausgenutzt werden, so darf kein Teil der Oberfläche länger als  $10^{-8}$  Sekunden mit einem anderen Stoff als mit Kohlensäure bedeckt sein, eine Bedingung, die niemals erfüllt sein kann, weil die Zelle neben Kohlensäure andere adsorbierbare Stoffe, zum mindesten Traubenzucker, in gelöster Form enthält. Diese Stoffe werden Kohlensäure von der Oberfläche verdrängen. Sie werden zwar in kinetischem Austausch mit der Kohlensäure ihre Plätze an der Oberfläche wechseln, jedoch zeitweise bestimmte Oberflächenbezirke blockieren und hier den Umsatz in chemische Energie verhindern.

Die Theorie klärt in einfacher Weise eine Reihe von Tatsachen: daß eine Zelle, die schwach belichtet wurde — also wenig Zucker enthält — die Energie vollständiger ausnutzt, als eine stark vorbelichtete Zelle; daß chemisch indifferente Stoffe, die an Grenzflächen gehen, den Umsatz in chemische Energie verhindern; daß die schwach adsorbierbare Blausäure, die andere Vorgänge in dem Chromatophor hemmt, ohne Einfluß auf den Energieumsatz ist. Die Theorie erklärt allgemein, warum der Energieumsatz bei der Kohlensäureassimilation keine konstante Größe ist, sondern veränderlich mit dem Zustand der Zelle.

## Die Fernrohre nach Kepler und nach Galilei — ein Vergleich.

Von A. Sonnefeld, Jena.

Trotzdem die Erfindung der Keplerschen und Galileischen Fernrohre schon etwa 3 Jahrhunderte zurückliegt und diese optischen Instrumente sehr bekannt und weitverbreitet sind, bestehen heute noch bei vielen Optikern über ihre theoretischen Grundlagen Unklarheiten, und es wird immer wieder außer acht gelassen, daß ein tiefgreifender Unterschied zwischen beiden Fernrohren vorhanden ist. Daß sich in den älteren physikalischen Lehrbüchern durchweg ungenügende und falsche Darstellungen der Theorie des holländischen Fernrohres finden, darauf hat zuerst wohl N. Lubimoff in seiner Abhandlung: „Neue Theorie des Gesichtsfeldes und der Vergrößerung der optischen Instrumente“ aufmerksam gemacht (1872). Weiterhin sind besonders von S. Czapski und M. v. Rohr richtige Darstellungen gegeben worden. Es scheint aber, daß diese Arbeiten nicht die verdiente Beachtung gefunden haben, denn immer wieder findet man in neueren Lehrbüchern die alten falschen Anschauungen. Nach Lubimoff rührt der Fehler von Euler (1780) her und ist wahrscheinlich auch deswegen so schwer zu bekämpfen. Euler hat danach für das astronomische (Keplersche) Fernrohr mit sammelndem Okular gültige Überlegungen auf das holländische (Galileische) Fernrohr mit zerstreuem Okular einfach übertragen,

<sup>1)</sup> Willstaetter u. Stoll, Untersuchungen über die Assimilation der Kohlensäure. Berlin 1918, S. 416.

was, wie hier gezeigt wird, nur unter gewissen Voraussetzungen zulässig ist.

Beim astronomischen Fernrohr liegen die Dinge bekanntlich so: Eine sammelnde Linse oder Linsenzusammenstellung (Objektiv) entwirft von sehr weit (unendlich) entfernten Dingen Bilder in einer zur Achse der Linsen senkrechten Ebene, die Brennebene genannt wird. Hinter dieses auffangbare Zwischenbild tritt eine zweite sammelnde Linse oder Linsenanordnung (Lupe, Okular), die eine doppelte Wirkung ausübt: erstens werden die von der Objektivöffnung kommenden und sich dort auch schneidenden, bilderzeugenden Strahlenbündel in ihrem Auseinanderstreben aufgehalten und erneut hinter

Pupille des Auges, dies beobachtet, wie durch ein rundes Loch, die vergrößerten Dinge (Schlüssellochbeobachtung).

In Fig. 1 hat mit Absicht die Okularlinse eine große Öffnung. Bei den gewöhnlichen Fernrohren mit sammelndem Okular wird nämlich das brauchbare Gesichtsfeld des Objektivs kaum zur Hälfte ausgenützt, und das hat seinen Grund darin, daß man starke Vergrößerungen erreichen will, die, wie bald gezeigt wird, bei vorgegebener Objektivbrennweite mit abnehmender Okularbrennweite wachsen. Riesenokulare vom Huygensschen Typus für große astronomische Fernrohre werden neuerdings von der Firma C. Zeiß angeboten; sie haben bei 150 mm Brennweite ein

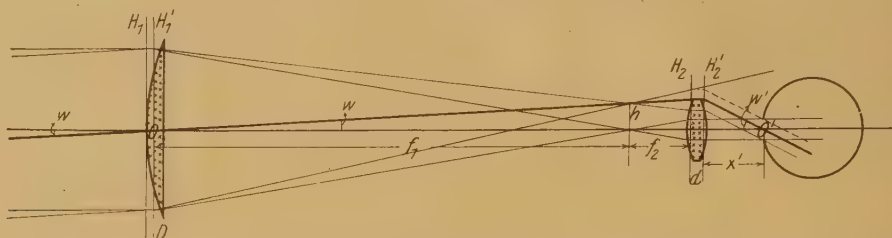


Fig. 1. Zur Ableitung des Wertes für die Vergrößerung und den Gesichtswinkel  $2w$  des astronomischen Fernrohrs mit sammelndem Okular.  $D$  ist Durchmesser des Objektivs,  $d$  Durchmesser des Okulars. Augenpupille und Austrittspupille haben zum gemeinsamen Mittelpunkt den Hauptstrahlenkreuzungspunkt auf der Bildseite  $O'$ , das durch das Okular erzeugte Bild der Objektivmitte  $O$ , Hauptstrahlenkreuzungspunkt auf der Dingseite.  $O$  und  $O'$  sind Projektionszentren der Abbildung. Von den schief einfallenden Strahlen werden am Rande nur Teile durchgelassen, die Helligkeit nimmt von einer bestimmten Hauptstrahlneigung an stetig ab. (Vignette.)

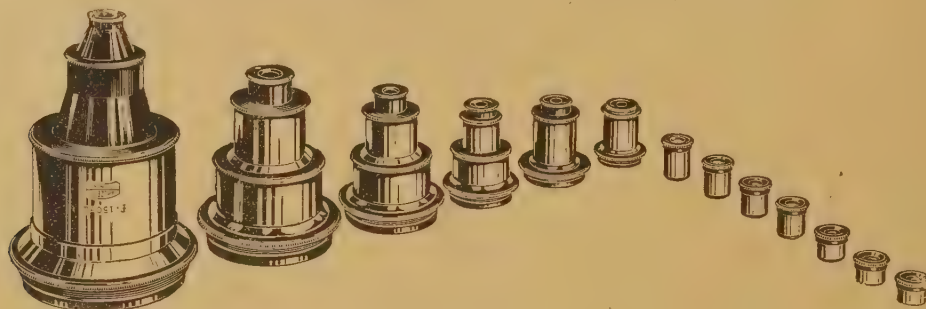


Fig. 2. Die beiden Zeißschen Okulare, das größte  $f = 150$  mm, Gesichtsfeld  $80^\circ$ , das kleinste  $f = 5$  mm, Gesichtsfeld  $40^\circ$ .

dem Okular zum Schnitt gebracht, und zweitens werden die einzelnen konvergenten Bündel wieder in Parallelbündel umgewandelt. In der Sprache der Optik heißt dieses: Die als Eintrittspupille geltende Objektivöffnung wird durch das Okular in die Austrittspupille abgebildet und die hintere Brennebene des Objektivs fällt mit der vorderen Brennebene des Okulars zusammen. Die Austrittspupille ist als kleiner Lichtkreis an jedem Fernrohr leicht zu sehen, wenn man aus einer Entfernung von etwa 25 cm durch das Fernrohr nach einem hellen Hintergrund sieht. Beim astronomischen Fernrohr ist die Austrittspupille zugänglich, und man kann den kleinen Lichtkreis mit einem hellen Blatt Papier auffangen. An die Stelle dieser Austrittspupille, die bei den mittelstarken Okularen etwa 1 cm hinter der augennahen Okularfläche liegt, tritt nun die

Gesichtsfeld von  $80^\circ$  und bieten ein so wundervolles Bild des fernen Sternenhimmels, daß nicht nur der Laie, sondern auch der Astronom vom Fach helle Freude bei dem Anblick empfindet. In Fig. 2 werden die Zeißschen Okulare vom kleinsten  $f = 5$  mm bis zum größten  $f = 150$  mm vorgestellt.

Aus der Fig. 1 lassen sich leicht die Werte für die Vergrößerung und das Gesichtsfeld beim astronomischen Fernrohr herleiten. Die Vergrößerung wird durch das Verhältnis

$$V = \lim_{w \rightarrow 0} \frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w}$$

bestimmt. Es sei absichtlich hierbei vermieden, eine Ableitung zu geben, bei der das Zwischenbild als selbstleuchtendes Objekt aufgefaßt wird, weil sie zu ungenauen Vorstellungen und Miß-



verständnis führt. Es gilt im achsennahen Gebiet, d. h. für sehr kleine Winkel  $w$ :

$$f_1 = \frac{h}{\operatorname{tg} w} \dots \dots \dots (1)$$

und weiter, wenn  $d$  der Okulardurchmesser:

$$f_1 + f_2 = \frac{d}{2 \operatorname{tg} w} \dots \dots \dots (1')$$

Für den Winkel  $w'$  erhält man die Beziehung:

$$x' = \frac{d}{2 \operatorname{tg} w'} \dots \dots \dots (2)$$

Durch Division der Gleichungen (1') und (2) erhält man dann:

$$\frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w} = \frac{f_1 + f_2}{x'} \dots \dots \dots (3)$$

Setzt man für  $x' = f_2 + \varepsilon$ , worin  $\varepsilon$  eine, im Verhältnis zu  $f_2$ , kleine Strecke ist, da ja bei astronomischen Fernrohren  $f_1$  sehr groß gegen  $f_2$  anzunehmen ist, so folgt, da

$$\varepsilon = \frac{f_2^2}{f_1} \dots \dots \dots (4)$$

$$x' = \frac{f_2}{f_1} (f_1 + f_2) \dots \dots \dots (5)$$

Aus (5) und (3) erhält man dann:

$$\frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w} = \frac{f_1}{f_2} \dots \dots \dots (6)$$

d. h. die Vergrößerung eines astronomischen Fernrohres ist gegeben durch den Bruch:

$$\frac{\text{Objektivbrennweite}}{\text{Okularbrennweite}}$$

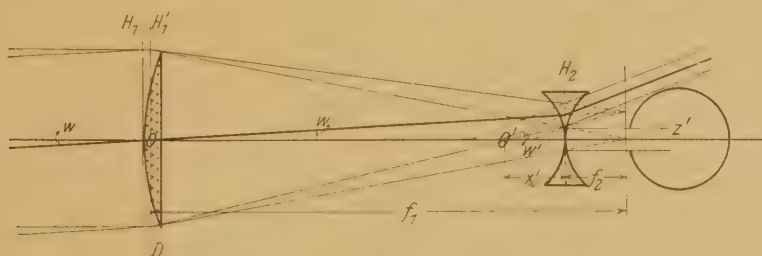


Fig. 3. Holländisches Fernrohr. Augenpupille und Austrittspupille liegen weit auseinander. Die Beobachtung längs der schiefen Bündel wäre sehr umständlich und erschwert die Überwachung des Sehfeldes.  $O'$  fällt bei starken Vergrößerungen sehr nahe an den vorderen Brennpunkt der Negativlinse.

Das Gesichtsfeld des astronomischen Fernrohres ist gleich der scheinbaren Größe der Okularöffnung vom Mittelpunkt des Objektivs aus gesehen, wenn keine Blende in der Brennebene des Objektivs angebracht ist. Da die Okularöffnung  $d$  ist, so erhalten wir für den Gesichtsfeldwinkel  $2w$  aus Gleichung (1) sofort:

$$2w = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{d}{f_1 + f_2} \dots \dots \dots (7)$$

Da das Gesichtsfeld der astronomischen Fernrohre nur klein ist, so kann man näherungsweise für  $2w$  den Wert:

$$\frac{d}{f_1 + f_2} \cdot 57,3^\circ \dots \dots \dots (8)$$

setzen.

Es sei hierbei gleich darauf hingewiesen, daß, wenn der Abstand der A. P. von der augenseitigen

Okularfläche etwa 20 mm und größer ist, was z. B. bei den oben erwähnten langbrennweitigen Okularen der Fall ist, nicht mehr die Augenpupille, sondern der Augendrehpunkt an die Stelle der A. P. rückt. Dann kann die natürliche Drehung des Auges ausgenutzt werden, und die lästige, bei starken Okularen allerdings unvermeidliche Schlüssellochbeobachtung erübrigt sich. Diese Annehmlichkeit erhöht die Freude an der Beobachtung mit den großen Okularen nicht unwesentlich. Die durch die Objektivmitte gehenden Strahlen werden Hauptstrahlen genannt, es sind die Achsen oder sogenannten Träger der bilderzeugenden Bündel. Die Hauptstrahlen schneiden sich im Projektionszentrum der Abbildung, in der Mitte der Austrittspupille. Fällt dorthin die Mitte der Augenpupille, so tritt Schlüssellochbeobachtung ein, fällt der Augendrehpunkt dahin, so sei die Beobachtung natürlich genannt.

Ein Schönheitsfehler macht sich bei einem astronomischen Fernrohr, dessen Gesichtsfeld durch die Okularöffnung begrenzt wird, unangenehm bemerkbar. Die Sehfeldgrenze erscheint unscharf, verschwommen. Dieser Mangel wird dadurch beseitigt, daß in der gemeinsamen Brennebene eine Gesichtsfeldblende angebracht wird, die dann durch das Okular scharf gesehen wird. Die Bilder dieser Gesichtsfeldblende fallen beide in das Unendliche. Das vom Objektiv entworfene Bild heißt Eintrittsluke, das vom Okular entworfene Austrittsluke. Beim holländischen

Fernrohr hat man es mit einer Austrittsluke im Endlichen zu tun, und ihre Bedeutung wird dort klar werden. Beim Vorhandensein einer Gesichtsfeldblende ergibt sich der halbe wahre Gesichtsfeldwinkel  $2w$  aus der Beziehung:

$$\operatorname{tg} 2w = \frac{\text{Blendendurchmesser}}{\text{Objektivbrennweite}}$$

Das astronomische Fernrohr nach *Kepler* unterscheidet sich vom stark vergrößernden Fernrohr nach *Galilei* dadurch, daß an Stelle der sammelnden Okularlinse eine zerstreuende Okularlinse tritt, deren augennahe Brennebene mit der hinteren Brennebene des Objektivs zusammenfällt. Ein Zwischenbild kommt also bei dieser Anordnung nicht zustande, und das Bild der Austrittspupille fällt, wie aus Fig. 3 zu ersehen ist, zwischen Objektiv und Okular. Die Zer-

streuungslinse sorgt also nicht dafür, daß die vom Objektiv herkommenden auseinander strebenden Bündel hinter der Okularlinse wieder zum Schnitt gebracht werden, sie bewirkt im Gegenteil, wenn wir die vorhergehende Betrachtung am astronomischen Fernrohr auf das holländische übertragen, daß die Hauptstrahlen noch stärker auseinanderstreben. Werden bei beiden Fernrohren gleiche Objektivöffnungen  $D$  vorausgesetzt, so erhält man bei gleichen Objektiv- und Okularbrennweiten für den Durchmesser der Austrittspupille bei beiden Fernrohren annähernd

$$D \frac{f_1}{f_2} = \frac{D}{V}$$

Aus der obigen Ableitung für die Vergrößerung läßt sich ohne weiteres schließen, daß sich, gleiche Brennweiten von Objektiv und Okular vorausgesetzt, nur das Vorzeichen der Vergrößerung ändert, d. h. man erhält beim Galileischen Fernrohr aufrechte Bilder. Die Erdfernrohre mit sammelndem Okular von gleicher Vergrößerung und gleicher Austrittspupille wie die holländischen Fernrohre erreichen also deren Lichtstärke niemals, weil sie zur Bildaufrichtung weitere lichtschwächende Linsen, Spiegel oder Prismen nötig haben.

Bevor auf das Gesichtsfeld des holländischen Fernrohrs näher eingegangen wird, ist es nötig, eine scharfe Bestimmung des Begriffs Gesichtsfeld vorzunehmen. Das Gesichtsfeld des ruhenden menschlichen Auges ist sehr groß, der Winkel erreicht bald  $180^\circ$ . Wenn auch nur ein ganz kleiner Teil dieses riesenhaften Sehfeldes scharf gesehen wird, so bleibt doch das ganze Gesichtsfeld unter hinreichender Kontrolle. Blickt man von einem Zimmer aus, einige Meter vor einem Fenster stehend, durch dieses ins Freie, so wird, bei ruhiger Kopfhaltung, durch die Fensterumrahmung ein bestimmtes Sehfeld abgegrenzt, in dem auch geringe Veränderungen sofort auffallen (z. B. vorbeifliegender Vogel), ohne daß der Blick gerade auf die Stelle gerichtet war, wo die Veränderung eintrat. Daß das Sehfeld nicht allein bestimmt ist durch die Umrahmung des Fensters, merkt man sofort, wenn man mit dem Kopfe seitliche Bewegungen ausführt. Dabei verschwinden Teile des ersten Sehfeldes und neue treten an ihre Stelle. Die Kontrolle über das erste Sehfeld geht also zum Teil verloren. Die gleiche Beobachtung würde vorliegen, wenn man so durch ein Schlüsseloch guckt, daß das Auge immer einige Zentimeter Abstand von der Öffnung behält. In dieser Weise ließe sich auch das holländische Fernrohr benutzen, weil bei ihm die Austrittspupille unzugänglich ist. Diese Art der Beobachtung wäre aber zweifellos äußerst unverständlich, die Kontrolle über das gesamte Sehfeld wäre nur mit großer Mühe aufrechtzuerhalten. Daher kann beim holländischen Fernrohr nur der Augendrehpunkt als Projektionszentrum in Frage kommen. Ein strenggenommen zwingen-

der Grund zu dieser Benutzung liegt zwar bei den Einzelfernrohren nicht vor, aber bei den Doppelfernrohren ergeben sich selbst bei zugänglicher Austrittspupille ziemliche Schwierigkeiten, wenn man Schlüsselochbeobachtung ermöglichen wollte. Ganz allgemein läßt sich sagen, daß Lage und Größe der Austrittsluke und Austrittspupille für die Wahl entscheidend sind, ob die Mitte der Augenpupille oder der Augendrehpunkt Projektionszentrum wird.

Bei den stark vergrößernden Fernrohren mit zerstreuem Okular ist der Querschnitt der aus der Negativlinse austretenden Parallelbündel meist sehr viel kleiner als die Augenpupille. In diesem Falle ist die Objektivöffnung Eintrittspupille und die Austrittspupille fällt, wenn  $f_1$  gegen  $f_2$  sehr groß ist, nahe an den vorderen Brennpunkt der Negativlinse. Nimmt man an, daß die Augenpupille sich dicht hinter der Negativlinse befindet, so daß ihr Abstand von dieser vernachlässigt werden kann, und faßt das Auge als ruhendes System (indirektes Sehen) auf, legt also die Pupillenmitte und den Augendrehpunkt auf der optischen Achse des Fernrohrs fest, so wird die Augenpupille zur Gesichtsfeldblende und das Gesichtsfeld wird durch den Winkel gemessen, unter dem die Öffnung der Augenpupille von der Mitte des Objektivs aus erscheinen würde. Man erhält also die Beziehung:

$$\operatorname{tg} 2w = \frac{\text{Pupillendurchmesser}}{f_1 + f_2}$$

Und dies ist der von Euler eingeführte Wert für das Gesichtsfeld des holländischen Fernrohrs.

Bleibt aber die Augenpupille kleiner als die Austrittspupille, und das ist der weit wichtigere und häufigere Fall beim holländischen Fernrohr, so wird die Augenpupille zur Austrittspupille des gesamten Systems Fernrohr und Auge, das durch die Negativlinse erzeugte Bild der Objektivöffnung wird zur Austrittsluke (Fenster), durch die das Auge seine natürliche Beobachtung ausführt, und als Hauptstrahlenkreuzungspunkt oder Projektionszentrum gilt daher der Augendrehpunkt. Da die Größe der Austrittsluke mit zunehmender Objektivöffnung wächst, so ist auch das Gesichtsfeld abhängig von der Größe der Objektivöffnung. Lubimoff wählt die Mitte der Augenpupille zum Projektionszentrum, führt also eine der Schlüsselochbeobachtung entsprechende Benutzung ein, bei der nur durch den achsennahen Teil der Negativlinse beobachtet wird, so, als ob sie auf den wirksamen Pupillendurchmesser abgeblendet wäre. Läßt man dann noch die Augenpupille mit der Negativlinse zusammenfallen, so ergeben sich für das Gesichtsfeld die Lubimoffschen Werte. Für den halben scheinbaren Gesichtsfeldwinkel  $w'$  erhält man den Ausdruck:

$$\operatorname{tg} w' = \frac{D/2}{f_1 + f_2} \quad (9)$$

Der wahre oder dingseitige Gesichtsfeldwinkel  $2w$



ergibt sich dann, da für kleine  $w$  näherungsweise  $\frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w} = \frac{f_1}{f_2}$  gilt, aus

$$\operatorname{tg} w = \frac{f_2}{f_1} \cdot \frac{D/2}{f_1 + f_2} \quad \dots \quad (10)$$

angenähert zu

$$2w = \frac{f_2}{f_1} \cdot \frac{D}{f_1 + f_2} \cdot 57,3^\circ \quad \dots \quad (11)$$

Aus Gleichung (8) und (11) erkennt man, daß zwei Fernrohre mit sammelndem und zerstreuendem Okular nur dann gleiches Gesichtsfeld besitzen, wenn die Beziehung  $d = \frac{D}{V}$  erfüllt ist, was nur bei ganz schwachen Vergrößerungen möglich ist.

Aus den Sternwarten sind die Galileischen Fernrohre wegen ihres geringen Gesichtsfeldes schon längst verschwunden, und heute versteht man unter einem holländischen Fernrohr meist nur noch einen Operngucker mit 2- bis 3facher Vergrößerung. Der Eulersche Wert für das Gesichtsfeld stimmt mit dem Lubimoffschen bei starken Vergrößerungen nur dann überein, wenn die Austrittspupille bzw. Austrittsluke gleich der Augenpupille ist. Bei zu großer Augenpupille erhält man nach Euler zu große und bei zu kleiner Augenpupille zu kleine Werte für das Gesichtsfeld im Vergleich zu den Werten Lubimoffs.

Die Beschränkung, daß die Objektivbrennweite sehr groß gegen die Okularbrennweite sei, soll jetzt fallen, und es sollen schwache Vergrößerungen angenommen werden, wie sie bei den Erdfernrohren für den Handgebrauch üblich sind. Über die Fernrohre mit sammelndem Okular ist wenig hinzuzufügen. Die Bildaufrichtung erfolgt heute durchweg mit Hilfe des Porroschen Prismensatzes, wodurch die Länge der Fernrohre ganz erheblich ( $\frac{1}{4}$  und noch weniger) verkürzt werden kann. Prismenfernrohre kommen heute allein in

Die Wirkungsweise eines schwach vergrößernden holländischen Fernrohrs veranschaulicht Fig. 4. Nur Teile der weiten bilderzeugenden Parallelbündel werden von der Augenpupille aufgenommen, und zwar von den achsenparallelen Bündeln die mittleren Teile, von den äußersten schiefen Bündeln die Randteile.

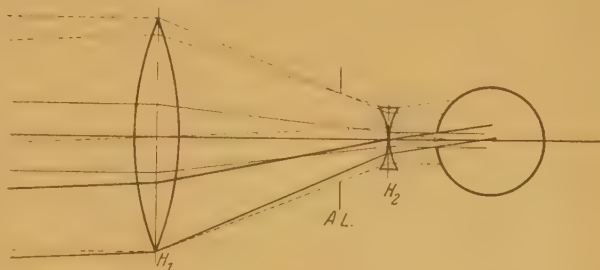


Fig. 4. Holländisches Fernrohr (schematisch) mit großer Austrittsluke und großem Querschnitt der bilderzeugenden Bündel. Die Augenpupille hat auf die Strahlenbegrenzung Einfluß und wird zur Austrittspupille.

Da bei den holländischen Fernrohren mit schwacher Vergrößerung die natürliche Beobachtung eintritt, bei der der Augendrehpunkt zum Hauptstrahlenkreuzungspunkt wird, so ist der von Lubimoff in Gleichung (11) gegebene Wert für den Gesichtsfeldwinkel zu groß. Augendrehpunkt und Austrittsluke (Fenster) bestimmen das scheinbare Gesichtsfeld, aus dem sich dann das wahre Gesichtsfeld in bekannter Weise ableiten läßt.

Nimmt man den Augendrehpunkt in einer Entfernung  $x'$  hinter der augenseitigen Okularfläche an, für die man in der Praxis einen Wert von mindestens 20 mm annehmen muß, so erhält man für den halben scheinbaren Gesichtsfeldwinkel  $w'$  die Beziehung:

$$\operatorname{tg} w' = \frac{D/2}{(f_1 + f_2) - x' V} \quad \dots \quad (12)$$

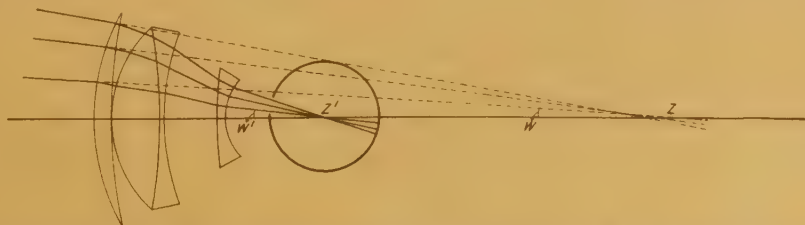


Fig. 5. Ein holländisches Fernrohr zweifacher Vergrößerung, so wie es in Wirklichkeit aussieht, mit dem Verlauf der Hauptstrahlen, die ihren Ausgangspunkt im Augendrehpunkt  $z'$  haben, der zugleich Mitte der Austrittspupille ist. Die Eintrittspupille liegt bei  $z$ .

Betracht, wenn es sich um stärkere als vierfache Vergrößerungen handelt. Was das Gesichtsfeld anbelangt, so stehen die Prismenfernrohre aller Vergrößerungen unerreicht da, hinsichtlich der Einfachheit und Lichtstärke sind ihnen jedoch die schwach, etwa bis vierfach vergrößernden holländischen Fernrohre bedeutend überlegen. Daß bei den schwachen Vergrößerungen die natürliche Beobachtung erstrebt wird, ist selbstverständlich.

Den halben wahren Gesichtsfeldwinkel  $w$  erhält man aus der näherungsweise für kleine Winkel zulässigen Beziehung:

$$\operatorname{tg} w = \frac{\operatorname{tg} w'}{V} = \frac{D/2}{V(f_1 + f_2) - x' V^2} \quad \dots \quad (13)$$

Man beachte, daß  $f_2$  und  $V$  negativ sind.

Es interessiert nun noch zu wissen, wenn als Austrittspupille der Augendrehpunkt angenom-

men wird, wohin dann die Eintrittspupille fällt. Sie liegt noch weiter hinter der Negativlinse, und zwar meist einige Dezimeter, bei stärkeren Vergrößerungen sogar einige Meter. Fig. 5 stellt ein modernes Galileisches Fernrohr von zweifacher Vergrößerung und  $20^\circ$  Gesichtsfeld dar. Der Gang der Hauptstrahlen der bilderzeugenden Bündel ist daraus ersichtlich.

Auf die Lage der Eintrittspupille bei den holländischen Fernrohren hat man zu achten, wenn man, gemäß der für endliche Hauptstrahlenneigungen noch mit hoher Annäherung gültigen Beziehung  $V = \frac{\text{tg } w'}{\text{tg } w}$  die Vergrößerung nachprüfen

will. Bekanntlich verfährt man dabei so: In einer Entfernung von etwa 25 m wird eine Meßlatte aufgestellt, und man vergleicht die Größe der beiden Bilder, die man erhält, wenn man mit einem Auge durch das Fernrohr, mit dem anderen Auge so (bloß) nach der Latte sieht. Das Verhältnis der beiden Bilder wird aber nur dann einen guten Annäherungswert für die Vergrößerung liefern, wenn die Mitte der Eintrittspupille des Fernrohrs nicht weit vom Augendrehpunkt entfernt liegt. Bei den Keplerschen Fernrohren ist der Abstand jener beiden Punkte ( $f_1 + f_2 + x'$ ), bei den holländischen Fernrohren dagegen  $V^2(x' - f_2) - (2f_1 + f_2 + x')$ .

Handelt es sich z. B. um Fernrohre von achtfacher Vergrößerung bei einer Objektivbrennweite von  $f_1 = 20$  cm, so erhält man, wenn noch  $x' = 2,5$  cm angenommen wird, für jenen Abstand beim Keplerschen Fernrohr 25 cm, dagegen beim Galileischen Fernrohr 2,8 m. D. h. im ersten Falle würde man die Vergrößerung auf obige Weise bis auf 1 %, im zweiten Falle aber noch nicht einmal bis auf 10 % genau erhalten. Und zwar fällt der Wert für das Keplersche Fernrohr etwas zu groß aus, während er beim Galileischen Fernrohr beträchtlich kleiner wird. Um den richtigen Wert beim letzteren zu erhalten, müßte man den ermittelten Wert mit  $\frac{27,8}{25} = 1,11$  multiplizieren.

Damit sind die Unterschiede der beiden Fernrohrarten mit genügender Schärfe gekennzeichnet, sie bestehen in kurzen Worten in der Verschiedenheit der Lage und Größe der Luken und Pupillen. Möge die absichtlich mehr gemeinverständlich gehaltene Darstellung dazu beitragen, die Grundlagen der Theorie des holländischen Fernrohrs auch denen begreiflich zu machen, die seither ihre optischen Kenntnisse aus alten Lehrbüchern entnommen haben, in denen die Strahlenbegrenzung der optischen Instrumente meist sehr stiefmütterlich behandelt ist. Ein modernes Lehrbuch über Optik darf aber keinesfalls die Lehre von der Strahlenbegrenzung seinen Lesern vorenthalten, wenn es sich nicht der Gefahr aussetzen will, von den Kennern ungünstig beurteilt zu werden.

## Besprechungen.

**Chapman, E. H., The study of the weather.** Cambridge, University Press, 1919. XII, 131 S. 55 Illustr., Taf. u. Karten. Preis geb. 4 s. net.

Das Werk bietet eine gute Einführung in die Wetterkunde und ist in erster Linie für britische Benutzer bestimmt. Was ihm aber eine grundsätzliche Bedeutung weit über diesen Kreis hinaus verleiht, ist die Methode, nach welcher der Lehrstoff entwickelt und dem Leser schmackhaft gemacht wird, sowie die auf eine Schärfung des Denkvermögens zugeschnittene Art, in welcher aus leicht anzustellenden Beobachtungen folgerichtig allgemeine Resultate abgeleitet und neue Probleme entwickelt werden.

Die einfachen Tatsachen der Witterungsvorgänge, die sich der Wahrnehmung geradezu aufdrängen, dienen als Ausgangspunkte, an die sich weitere Auseinandersetzungen knüpfen. Der Hauptwert aber liegt in den, jedem Abschnitt eingefügten, gut ausgewählten und zahlreichen (258 Nummern) Übungsbeispielen, die möglichst verschiedene Arten der Betätigung erfordern, z. B. Beobachtungen in der Natur, Berechnungen am Schreibtisch, Fragen und Anregungen zur Erörterung im Hörsaal, schwierigere Erörterungen für Intelligente und Vorgeschrittene, Ableitung von Gesetzen aus dem erarbeiteten Wissensstoff, Aufgaben für häusliche Arbeiten, Experimente im Laboratorium usw. Hervorgehoben zu werden verdient, daß der Luftdruck durch Angabe des Gewichtes auf die Flächeneinheit, ferner in Millimetern Quecksilberhöhe, aber auch auf modernste Art in Millibars angegeben und diese letztere Methode sowohl auf den Wetterkarten benutzt, als auch allen Berechnungen zugrunde gelegt wird.

Druck und Ausstattung sind vorzüglich und die Abbildungen, unter denen interessante Wolkenformen auffallen, gut ausgewählt. Der Witterungsverlauf wird an der Hand von Wetterkarten anschaulich erläutert.  
O. Baschin, Berlin.

**Kayser, E., Lehrbuch der Geologie. I. und II. Band.** Allgemeine Geologie. (1) Physiographische Geologie und äußere Dynamik, 2. Innere Dynamik. Sechste vermehrte Auflage. Stuttgart, F. Enke, 1921. I. Bd. XII, 760 S. und 549 Abb. Preis geb. M. 141,—, geb. M. 159,—. II. Bd. VI, 426 S. und 222 Abb. Preis geb. M. 81,—, geb. M. 99,—.

Wer, wie der Referent, die Grundzüge der Geologie seinerzeit nach den ersten Auflagen des Kayserischen Lehrbuches erlernt hat, der wird die neuen Auflagen als ganz neues Werk empfinden, zugleich auch als historisches Dokument über die riesenhaften Fortschritte, welche die Lehre von der Erde in den beiden letzten Jahrzehnten gemacht hat. In unermüdlicher Arbeit hat es der Verfasser immer wieder verstanden, alle neuen Errungenschaften in das Werk hineinzuarbeiten und es auf moderner Höhe zu halten. Nur der Fachmann kann abschätzen, wie schwer es ist, die gesamte Flut neuer Arbeiten zu bewältigen, Nebensächliches von Wesentlichem und Bleibendem zu trennen und das letzte einem schon vorgezeichneten Rahmen so einzufügen, daß die Übersichtlichkeit des Ganzen nicht verloren geht. Vielleicht haben französische Lehrbücher gegenüber den Kayserischen den Vorzug einer besseren Systematisierung und strafferen Gliederung. Die Vollständigkeit des verarbeiteten Materials, welche durch die häufigen Neuauflagen gewährleistet wird, haben sie sicher nicht erreicht. Für Studierende, be-



sonders für Anfänger, ist das Buch vielleicht etwas zu groß, da es eigentlich schon den Umfang eines Lehrbuches überschreitet. Der Fachmann kann es nicht entbehren, da es, durch Index und Literaturzitate bereichert, fast über alle Fragen der allgemeinen Geologie bis in die jüngste Zeit Aufschluß gibt. Vermöge seiner schönen, plastischen Schilderungen und eines prachtvollen Bildermaterials ist es aber auch dem Nichtgeologen, welcher sich ernsthaft mit der Erde beschäftigen will oder muß, durchaus empfehlenswert. Bei einigen Problemen ist ja die subjektive Anschauung nicht zu vermeiden. Wenn z. B. *Kayser*, im Anschluß an *Heim*, in bezug auf die gebirgsbildenden Vorgänge noch ganz auf dem Standpunkt der Kontraktions-theorie steht, so werden ihm heute viele nicht folgen können. Da aber auch die anderen Anschauungen — zum mindesten kurz — zur Schilderung kommen, kann man sich über streitige Fragen an Hand des Buches selbst orientieren.

Die sechste Auflage ist an Umfang stark gewachsen und in zwei Bände geteilt worden. Sie enthält 1186 Seiten gegenüber 1075 der fünften Auflage. Unter den Abschnitten, welche eine Bereicherung erfahren haben, erwähne ich: die Theorien der Polverschiebungen; die Schwerkraftverhältnisse und die geologische Zeitrechnung; eine eingehende Darstellung der klimatischen Verhältnisse der Gegenwart und Vergangenheit; eine sehr nützliche Tabelle der Verbreitung von Mineralien in Gesteinen; eine etwas ausführlicher ausgearbeitete Übersicht der wichtigsten Gesteinstypen; neue Angaben über die Tuffröhren Südafrikas mit schönen Bildern; Ausführungen über den Vulkanismus der Tiefe. Manches Neue steht auch in den Abschnitten über Windwirkung und Wüste, über Klima und Verwitterung, über Glazialbildungen, über die Ursachen des Vulkanismus, über Erdöl und Asphalt. In den Abschnitten über Gebirgsbildung wäre die Schilderung der Lehmannschen Trogtheorie und das nähere Eingehen auf die pazifischen Tiefseeegräben zu erwähnen. Ferner bringt der Abschnitt über die Verschiebung der Dreieckspunkte im südbayrischen Vermessungsnetz einige sehr wichtige und ganz moderne Angaben.

Sehr zu begrüßen ist die fast ganz neu eingefügte Darstellung der Bodenbildung und die starke Umarbeitung des Abschnittes über Erdbeben, der somit auch auf ganz zeitgemäßer Höhe steht.

Viele neue Bilder bilden eine wertvolle Ergänzung des Buches. Nur einige seien erwähnt: ein schönes Bild aplitischer Lagergänge im Erongogebirge, ein großes Profil durch Schwarzwald und Vogesen und ein übersichtliches Kärtchen vom Südende des Rheintalgrabens; eine sehr lehrreiche Abbildung der Viktoriafälle am Sambesi; einige schöne neue Wüstenbilder; ein sehr wirkungsvolles Bild eines schwimmenden Eisberges; sehr anschauliche Seismogramme; *Holte Dahls* Darstellung der Gestaltung des arktischen Gebietes in paläozoischer Zeit. Sehr wichtig ist die Einfügung der Karte, welche eine Verbreitung des Urgebirges mit Streichzeichen angibt (nach *Ruedemann*).

Ich kann diese Aufzählung nicht weiterführen; wer sich über ein bestimmtes Problem unterrichten will, oder wer Literatur darüber sucht, kann gewiß sein, im *Kayserschen* Lehrbuch auch das Neueste darüber zu finden. Begrüßenswert fände ich es, wenn in späteren Auflagen noch ein kurzer Abschnitt über die Geschichte der Geologie hinzugefügt würde. Dieser Gegenstand ist der Erwähnung wert, wird aber in allen Lehrbüchern nur ganz kurz gestreift. *S. von Bubnoff, Breslau.*

**Born, A., Allgemeine Geologie und Stratigraphie:** Wissenschaftliche Forschungsberichte, Naturwissenschaftliche Reihe Bd. II. Dresden und Leipzig, Theodor Steinkopff, 1921. 145 S. Preis M. 20,—.

Das Bändchen will einen Überblick über die wesentlichsten Fortschritte der Geologie während der Kriegsjahre geben. Es soll vor allem den Verlust, den mancher durch das erzwungene Ruhenlassen jeder wissenschaftlichen Betätigung während des Krieges erlitten hat, einholen helfen. Darüber hinaus wird es aber auch allen denen willkommen sein, die sich möglichst rasch über die aktuellen Probleme und bis zu einem gewissen Grade über den gegenwärtigen Stand der Geologie unterrichten wollen, d. h. allen jüngeren Geologen und allen geologisch interessierten Nichtfachleuten. Diesem Ziele kommt besonders der bei aller Kürze das Wesentliche kennzeichnende Text entgegen, der das Literaturverzeichnis begleitet und in Stichworten gleichsam einen Führer durch die geologische Literatur der Kriegsjahre darstellt.

*E. Bederke, Breslau.*

**Klockmann, F., Lehrbuch der Mineralogie.** 7. und 8. Auflage. Stuttgart, Ferdinand Enke, 1922. XI, 667 S., 580 Abbildungen u. 2 Anhänge. 16×24½ cm. Preis geh. M. 144,—; geb. M. 171,—.

Nach zehnjähriger Pause ist der 5. und 6. Auflage des beliebten Lehrbuches jetzt die 7. und 8. gefolgt. Die Zahl der Seiten ist von 628 auf 667, die der Textfiguren von 562 auf 580 gestiegen; den Bestimmungstabellen für 250 Mineralarten ist als zweiter Anhang eine Übersicht über die nutzbaren Mineralien hinzugefügt, d. h. über solche, die in Technik, chemischer Industrie, Landwirtschaft oder sonst in der Volkswirtschaft Verwendung finden; dabei werden auch das geographische Auftreten, das geologische Vorkommen („Lagerstätte“) und die Vergesellschaftung („Paragenese“) besonders eingehend behandelt. Auch in dem systematischen Teil des Buches (S. 325—646) hat der Verfasser, offenbar aus den Gesichtspunkten der Aachener Technischen Hochschule und deren bergbau-licher Abteilung, an der er wirkt, den nutzbaren Mineralien und ihrem Vorkommen besondere Sorgfalt gewidmet. Theoretisch wird die Lagerstättenkunde in dem allgemeinen Teil des Buches, der, wie üblich, dem systematischen vorausgeht, in einem umfangreichen Kapitel behandelt. Jener erste Abschnitt des Werkes bringt die Gesetze, Theorien und Methoden der Mineralogie und hauptsächlich der Kristallographie in guter und klarer Weise zur Darstellung. Dabei werden die Kristallformen mit Recht als Wachstumserscheinungen und somit als Gegenstand der Kristallphysik betrachtet. Nur das Fehlen eines Kapitels über Kristallstruktur muß ich als Mangel bezeichnen; im übrigen sei das Buch warm empfohlen.

*A. Johnsen, Berlin.*

**Voltz, Fr., Die physikalischen und technischen Grundlagen der Messung und Dosierung der Röntgenstrahlen.** Berlin, Urban und Schwarzenberg, 1921. VII, 300 S. und 173 Figuren. Preis geh. M. 48,—; geb. M. 66,—.

In neuerer Zeit beschäftigt sich die therapeutische Röntgentechnik vorwiegend mit dem Problem der Krebsheilung, das in physikalischer Hinsicht zu folgenden zwei Aufgaben führt:

1. Erzeugung möglichst durchdringungsfähiger Röntgenstrahlen,
2. Ausbildung von Methoden zur exakten Dosierung der verabreichten Strahlungsmenge.



Gerade die relativ geringe Strahlungsempfindlichkeit der Krebszellen verlangt gebieterisch eine sichere Beherrschung der Meßtechnik. Eine zu große Dosis bedingt schwere Schädigungen der umgebenden gesunden Körperpartien, während eine zu kleine Dosis im Gegenteil das Wachstum der Krebszellen befördert („Reizdosis“). Nach dem gegenwärtigen Stand ist keines der Meßverfahren ganz befriedigend. Es ist daher im Interesse des Fortschrittes auf diesem Gebiete sehr zu begrüßen, daß der Verfasser in dem vorliegenden Buch, das sich nicht bloß an den Arzt, sondern auch an den Techniker und Physiker wendet, eine erschöpfende Darstellung sämtlicher zur Messung der Qualität und Quantität der Röntgenstrahlen angegebenen Methoden bietet. Die physikalischen Voraussetzungen dieser Verfahren und die Grundbegriffe der Röntgenstrahlenmessung (Heterogenität, Halbwertschicht usw.) werden in dem theoretischen Teil in klarer Darstellung behandelt; im praktischen Teile wird sodann eine Beschreibung der Ausführung der Verfahren unter Anführung der zu beachtenden Fehlerquellen gegeben. Die zahlreichen Literaturnachweise werden jedem auf diesem Gebiet wissenschaftlich arbeitenden Leser besonders erwünscht sein.

R. Glocker, Stuttgart.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Zur Geschichte des Ammoniakverfahrens.

Irreführende Angaben, die letzthin in Lehrbüchern veröffentlicht worden sind (siehe z. B. *Trautz' Lehrbuch der Chemie*, S. 119, 1922), veranlassen mich zu folgenden Bemerkungen über die Geschichte der Ammoniakgewinnung aus dem Luftstickstoff. Ich fühle mich dazu verpflichtet, da jene Angaben in einem merklichen Widerspruch stehen zu einer Darstellung, die ich vor einiger Zeit gegeben habe (siehe *Chemiker-Zeitung* 1919, Nr. 150).

Schon in ihren ersten Arbeiten sprechen sich *Haber* und *van Oordt* eindeutig in dem Sinne aus, daß gemäß dem Prinzip von *van't Hoff* und *Le Chatelier* die Ammoniakausbeute mit höherem Druck steigen müsse (siehe *Zeitschrift für anorganische Chemie* Bd. 44, S. 344 und 357, 1905). Die Messungen wurden von ihnen bei gewöhnlichem Druck ausgeführt, weil sie unter möglichst einfachen Versuchsbedingungen zu arbeiten suchten. Weitere Veröffentlichungen anderer Forscher, die diesen Druckeinfluß betreffen, sind mir aus den Jahren 1904 und 1905 nicht begegnet<sup>1)</sup>. Mündlich wurde er wohl oft zwischen Fachgenossen erörtert; er lag ja bei der großen Volumenänderung, die bei der Ammoniakbildung auftritt, allzusehr auf der Hand. Als nun *Nernst* 1906 die Folgerungen aus dem von ihm gerade gefundenen Wärmesatz prüfte, kam er zum Ergebnis, daß die theoretisch berechnete Dissoziation des Ammoniaks größer sei, als sie sich aus den Versuchen von *Haber* und *van Oordt* ergab. In der Tat bestätigten Messungen von *Jost*, die er veranlaßt hatte, und die bei höheren Drucken ausgeführt wurden, die niedrigeren, von der Theorie geforderten Ammoniakausbeuten. *Haber* und *Le Rossignol* gelangten in einer gleichzeitig erschienenen, durch eine briefliche Mitteilung von *Nernst* angeregten Arbeit, die bei gewöhn-

lichem Druck mit besonderer Sorgfalt ausgeführt war, gleichfalls zu kleineren Zahlen, die denen von *Jost* nahe lagen. *Nernst* zog aus diesen Ergebnissen die Folgerung, die Aussichten, Ammoniak auf dem genannten Wege technisch herzustellen, seien nicht groß. Er sagt gelegentlich der Erörterung der *Jostschen* Arbeit bei der Hauptversammlung der Bunsengesellschaft zu Hamburg 1907 (*Zeitschrift für Elektrochemie* Bd. 13, 524, 1907): „Dann darf ich vielleicht nur noch eine Tatsache konstatieren, die von allgemeinem technischen Interesse ist. Es ist sehr bedauerlich, daß das Gleichgewicht nach der Seite der viel geringeren Bildung mehr verschoben ist, als man nach den stark unrichtigen Zahlen *Habers* bisher angenommen hat, denn man hätte wirklich daran denken können, Ammoniak synthetisch herzustellen aus Wasserstoff und Stickstoff. Aber jetzt liegen die Verhältnisse sehr viel ungünstiger, die Ausbeuten sind ungefähr dreimal kleiner als zu erwarten war.“ Und ähnlich urteilten damals wohl die meisten Fachgenossen. *Haber* gab jedoch das Rennen noch nicht auf. Es gelang ihm, Druck und Katalysator so glücklich zu wählen, daß sich im Laboratorium Ammoniak aus Stickstoff und Wasserstoff in guten, sicheren Ausbeuten gewinnen ließ, und er überwand so die Zweifel, die noch von technischer Seite gehegt wurden. Über die außerordentlichen Leistungen von *Bosch* und *Mittasch* bei der Durchführung des Verfahrens im Großen herrscht keine Meinungsverschiedenheit. Aber ihre Arbeit setzte voraus, daß die Überzeugung durchgedrungen war: das Ammoniakverfahren ist technisch möglich. Und dies Vertrauen fußte nicht auf einem ermutigenden, aus dem Prinzip von *van't Hoff* und *Le Chatelier* folgenden Schluß bezüglich des günstigen Einflusses hoher Drucke, erst recht nicht auf einem entmutigenden Schluß bezüglich der geringen Ausbeuten auf Grund des *Nernstschen* Wärmesatzes, sondern lediglich auf *Habers* Laboratoriumsversuchen.

Berlin-Dahlem, den 27. Mai 1922.

H. Freundlich.

## Botanische Mitteilungen.

Über die Lebewelt der Nepentheskannen. Daß die dem Tierfang dienenden Kannen von *Nepenthes* von zahlreichen Organismen bewohnt werden, die den Verdauungssäften zum Trotz ihren Lebenszyklus ganz oder zum Teil in der Kannenflüssigkeit vollenden, ist seit den ersten Angaben von *Sarasin* von verschiedenen Forschern bestätigt worden. Namhaft gemacht wurden bis jetzt Nematoden (Fadenwürmer) und Larven von Mücken, Fliegen, Milben und Lepidopteren. *P. v. Oye* konnte diese Liste in einer Untersuchung, die sich auf *Nepenthes melampophora* erstreckte (*Biol. Centralbl.* 41, 1921), um zahlreiche Arten vermehren. So fand er eine Cyanophyceae (*Merismopedium*), eine Desmidiaceae (*Euastrum*) und verschiedene Diatomeen aus den Gattungen *Epithemia*, *Achnanthes*, *Navicula* und *Coconëis*. Es sind dies lauter Algen, die an sehr diffuses Licht, wie es ja in den Nepentheskannen herrscht, angepasst sind. Zu diesen pflanzlichen Organismen gesellen sich noch eine Reihe von Rhizopoden (*Centropyxis*, *Diffugia*, *Lesquereusia*, *Arcella*, *Amoeba* und *Cochliopodium*). Hierunter befindet sich eine Art, die bis jetzt bloß in Nepentheskannen beobachtet wurde — *Amoeba nepenthesi*. Daß die Protozoen ein starkes Kontingent stellen, ist ja nicht verwunderlich, wenn man bedenkt, daß sie auch häufig in den fer-

<sup>1)</sup> Eine Angabe von *Perman* (*Proc. Roy. Soc. A.* 76, 171, 1905) kann in diesem Sinne nicht gewertet werden, da er die Gültigkeit des Massenwirkungsgesetzes bei dem Ammoniakzerfall nicht anerkennt.



mentreichen Darmsäften auftreten. Auch den übrigen Formen muß — vielleicht durch sekundäre Anpassung — die Eigenschaft der Enzymfestigkeit zukommen, sonst würden sie ja der Verdauung zum Opfer fallen. Wie man sieht, handelt es sich um eine formenreiche Lebensgemeinschaft (Biocönose), deren Biologie im einzelnen zu durchforschen noch eine dankbare Aufgabe darstellt.

**Über die Reizleitung der Mimosen.** So viel schon von pflanzenphysiologischer Seite über die Reizbewegungen der Sinnpflanze (*Mimosa*) gearbeitet worden ist, so regt doch dieses dankbare Objekt zu immer neuen Fragestellungen an. Über die Versuche *Riccias*, bei denen es gelungen ist, eine Reizleitung zwischen der abgeschnittenen Spitze und dem Stumpf festzustellen, selbst dann, wenn zwischen beiden eine Wassersäule von mehreren Zentimetern Länge eingeschaltet war, ist in dieser Zeitschrift berichtet worden. Von einer neuen Seite faßt *Lieske* (Ber. d. D. Bot. Ges. 39, 1921) das Reizleitungsproblem an. Er stellt sich die Frage, ob es möglich ist, ein Übergreifen des Reizes zwischen Reis und Unterlage zu erzielen, wenn man verschiedene *Mimosa*-arten aufeinander pflöpft. Die Experimente erstreckten sich auf *M. pudica*, *M. Spegazzini* und *M. elliptica*. Die zuletzt genannte Art zeigt viel trägere Reaktionen als die beiden anderen Formen. Näher geschildert wird das Verhalten der Pflöpfung *M. Spegazzini* auf *M. elliptica*. Reizt man die Blättchen der Unterlage durch Anbrennen, dann senken sich die Fiederchen um etwa 10–20°, und zwar mit nicht zu großer Geschwindigkeit; die Reaktion greift in üblicher Weise auf ungereizte Blätter über und pflanzt sich mit einer Geschwindigkeit von ca. 2–3 cm pro Sekunde fort. Beim Übertritt des Reizes auf das Reis ist eine Beschleunigung auf den dreifachen Wert festzustellen. Außerdem erfolgt das Zusammenklappen der Blättchen viel rascher und mit wesentlich verstärktem Ausschlag. Genau das umgekehrte Bild erhält man, wenn man das Reis ansengt: im Reis selbst starke und rasche Reaktion, verbunden mit hoher Fortpflanzungsgeschwindigkeit, in der Unterlage allgemeine Dämpfung. Sehr interessant wäre das Verhalten von Pflöpfungen, bei denen empfindliche Formen mit solchen kombiniert würden, bei denen normalerweise keine Reaktion auftritt; es könnte ja sein, daß eine Reizung des vielleicht bloß scheinbar unempfindlichen Partners zu einer Reizbeantwortung bei der anderen Komponente führt. Hierüber liegen aber noch keine Daten vor.

**Die Darmflora des Menschen.** In einer kurzen zusammenfassenden Darstellung behandelt *W. Henneberg* die Darmflora des Menschen und anschließend daran diejenige einiger Säugetiere (Pferd, Schwein, Rind, Hund usw.) und Vögel (Huhn, Taube). Es nehmen an ihr teil vor allem die verschiedensten Gruppen der Bakterien, ferner Actinomyceten und Pilze (insbesondere Hefen). Ihre Verteilung im Verdauungstraktus ist nicht gleichmäßig, sondern die verschiedenen Bezirke (Magen, Dünndarm, Dickdarm) weisen ihre Besonderheiten auf. Ferner unterscheidet sich die Darmflora eines Säuglings von der eines Erwachsenen, diejenige eines Gesunden von der eines Kranken usw. Durch Zufuhr von besonderen Nahrungsmitteln kann die Zusammensetzung der Flora in bestimmter Weise verändert werden; so führt Milchgenuß zu verstärktem Auftreten von Milchsäurebakterien, Genuß von Zellulosen und stärkehaltigen Zellen begünstigt die Anreicherung von Zellulose, Pektin und Stärke fressenden

Bakterien, eine Tatsache, die sich in gesteigerter Gasbildung äußert. So sind denn auch durch den täglichen Genuß von Brot gewisse Mikroorganismen zu ständigen Darmbewohnern geworden. Hinsichtlich ihres Stoffwechsels gehören die Darmorganismen den verschiedensten Typen an: Zellulose-, Pektin-, Stärke-, Eiweißverzehrer usw. Es handelt sich um eine richtige Arbeitsgemeinschaft, bei der oft die eine Form erst die geeigneten Bedingungen für die Tätigkeit einer anderen schafft. So werden durch die Pektinorganismen die Zellen voneinander losgelöst, dann werden durch die Zellulosebakterien die Wände abgebaut, und hieran schließt sich die Verwertung des Zellinhalts mit Hilfe von diastatischen, peptischen und sonstigen Enzymen an. Für den Menschen ist das Vorhandensein dieser Organismen — falls es sich nicht um pathogene Formen handelt — von hoher Bedeutung, weil oft erst durch sie die Nahrungsstoffe in eine Form gebracht werden, in der sie für die Verdauungssäfte zugänglich sind. So ginge die Stärke, wenn sie, was bei Hülsenfrüchten häufig der Fall ist, durch das Kochen nicht genügend verkleistert ist, ungenutzt ab. Derartige Beispiele gibt es noch in großer Anzahl, und sie illustrieren uns in deutlicher Weise, welche wichtige Rolle den Darmbewohnern im Stoffwechsel des Menschen und anderer Vertebraten zufällt.

**Die Übereinstimmungen zwischen Diatomeen, Heteroconten und Chrysomonaden.** In einer früheren Arbeit hat *Pascher* die drei Algengruppen der Diatomeen, Heteroconten und Chrysomonaden auf Grund eines systematischen Vergleichs zu einem besonderen Stamm, den Chrysophyten, vereinigt, deren phylogenetische Entwicklung jener der Chlorophyten parallelen gehen zu denken wäre. Die Momente, die für diese Ableitung sprechen, werden nun in einer weiteren Studie (Ber. d. D. Bot. Ges. 39, 1921) näher begründet. Da ist zunächst die Tatsache hervorzuheben, daß die Membranverhältnisse recht auffällige gemeinsame Züge aufweisen: „bei allen drei Reihen kommt das Längswachstum der Zelle durch den Einschub differenter fingerlingartig ineinander steckender Stücke zustande, von denen die inneren jüngeren immer länger sind als die äußeren älteren“. Aber die Übereinstimmung der Zellwand geht noch weiter: die für die Diatomeen so bezeichnende Zweischaligkeit ist auch in vielen Fällen bei den Heteroconten und Chrysomonaden sowohl für die vegetativen Zellen als auch für die Sporen nachgewiesen; dasselbe gilt für die Verkieselung. Ein weiterer beachtenswerter Einzelzug ist der, daß die für manche Diatomeenzysten charakteristischen bäumchenartig verzweigten Schalenskulpturen auch bei manchen Chrysomonaden auftreten, und zwar beide Male auf der äußeren Schale. Auch die Begeißelung weist wenigstens bei Heteroconten und Chrysomonaden verwandte Züge auf; so konnte für viele Chrysomonaden nachgewiesen werden, daß hier, wie bei den Heteroconten zwei verschiedenartige Geißeln vorhanden sind. Für die Diatomeenschwärmer sind diese Verhältnisse noch nicht geklärt. Hinsichtlich der Zellinhaltsstoffe ist zu bemerken, daß in allen drei Fällen Stärke fehlt und ein hoher Gehalt an gelben Farbstoffen, Carotin vorhanden ist. Dagegen geht den Heteroconten der braune Farbstoff der Diatomeen und Chrysomonaden ab, sie besitzen dafür Chlorophyll. Phylogenetisch bedeutungsvoll ist aber die Konstatierung, „daß unter den Chrysomonaden vereinzelt ganz grüne, sonst aber vollkommen identische Individuen unter sonst braunen auftreten, wie es auch Arten gibt, die den



braunen Farbstoff dauernd verloren zu haben scheinen“. Alle diese Tatsachen deuten darauf hin, daß die drei Reihen der Chrysophyten auf eine einheitliche Wurzel zurückgehen; die Diatomeen sind, wie die Conjugaten, in einer Sackgasse geendigt, die Chrysomonaden haben Flagellatentypus angenommen und bloß die Heteroconten sind zu einer weiteren algenartigen Ausbildung gelangt.

**Die Samen der Bromeliaceen in ihrer Anpassung an den Epiphytismus.** Mit den Beziehungen zwischen dem Samenbau der Bromeliaceen und der epiphytischen Lebensweise dieser Gewächse beschäftigt sich eine Arbeit von *Szidat* (Arch. f. Bot. I, 1922). Wie dies für die meisten Epiphyten bezeichnend ist, erfolgt auch hier die Samenverbreitung durch Vögel oder durch den Wind. Zu der ersten Kategorie gehört die Unterfamilie der Bromeliaceae; die Frucht ist hier als Beere ausgebildet, die Samen von 1—5 mm Länge birgt; die äußere Samenschale verschleimt und dient zum Ankleben an den Ästen, die innere ist stark verdickt und schützt das Innere bei der Passage durch den Verdauungstrakt gegen Verdauung. Auffällig ist das rasche Auftreten der Wurzelhaare beim Auskeimen der Samen; offenbar soll dadurch ein möglichst rasches Anklammern an die Rinde erzielt werden. Die Unterfamilie der Tillandsiaceae weist Samen mit Flugvorrichtungen auf, die in sehr merkwürdiger Weise zustandekommen. Das Integument, das ursprünglich ganz normal den Samen umhüllt, spaltet in schmale Längsstreifen auf, die sich bis zur Basis des Samens lösen und so einen Haarkranz bilden, der an den Pappus der Compositen erinnert. Diese Flughaare stellen also entwicklungsgeschichtlich keine eigentlichen Haare dar. An ihrem freien Ende besitzen sie ein paar krallenförmige Anhänge, die der Festhaftung dienen, wenn der Samen vom Wind auf einen Ast getrieben wird. Auch die feuchtgewordenen Haare selbst wirken nach dieser Richtung. Bei der Gattung *Tillandsia* ist das eine Ende des Samens in einen „Saugstumpf“ ausgezogen, der kapillar Wasser aufnimmt, das als Reservoir dient. Bei der Gattung *Catopsis* ist am Vorderende des Samens ebenfalls ein Pappuskranz vorhanden, der sich aber diesmal wirklich von Haaren herleitet; wir haben es also mit einer interessanten Konvergenzerscheinung zu tun, die dadurch noch mehr an Auffälligkeit gewinnt, daß auch die *Catopsis*-haare mit Haken versehen sind. Neben diesem Spitzenschopf ist bei *Catopsis* am entgegengesetzten Ende noch ein Basalschopf vorhanden, der aus verkorkten wasserundurchlässigen Haaren besteht; diese legen sich schützend um jene Region, in der sich der Embryo befindet. Auch in der dritten Unterfamilie, den Pitcairniaceae, treten Samen mit Flugapparaten auf, die aber lange nicht so kompliziert gebaut sind; entsprechend der Tatsache, daß es sich bei dieser Gruppe meist um typische Erdbewohner handelt. Es ist dies offenbar der ursprünglichere Zustand. Nach den Angaben von *Ule*, die indes nicht nachkontrolliert werden konnten, tritt bei den Bromeliaceen (*Nidularium*) noch ein dritter Verbreitungstypus auf: die Samen werden durch Ameisen verschleppt. Es gilt dies von allen jenen Formen, die gewohnheitsgemäß die „hängenden Gärten“ der Ameisen bewohnen.

**Kritik der Blackmannschen Theorie der begrenzenden Faktoren bei der Kohlensäureassimilation.** *Black-*

*mann* hat versucht, das bekannte von *Liebig* formulierte Gesetz des Minimums, nach dem für die Ernährung der Pflanzen nur der im Minimum befindliche Nährstoff für die Produktion maßgebend ist, auf die Assimilation auszudehnen. Das würde also besagen, daß die Assimilationsgeschwindigkeit bestimmt wird durch den in geringster Menge anwesenden Faktor. Wird dieser Faktor in größerer Menge geboten, dann steigt die Geschwindigkeit geradlinig an bis zu einem neuen Gleichgewichtszustand, der dadurch bestimmt ist, daß nunmehr ein anderer Faktor ins Minimum gerät. Diese weitere Vergrößerung des ersten Faktors hat keine Wirkung mehr, weil nunmehr der zweite bedingend ist. Infolgedessen muß die Assimilationskurve einen scharfen Knick aufweisen, wofür auch die Blackmannschen Versuche zu sprechen scheinen. Damit stimmen aber eine Reihe neuerer Erfahrungen nicht überein. Deshalb hat *Harder* (Jahrb. f. wiss. Bot. 60, 1922) die Frage erneut aufgegriffen. Er gelangte dabei in Versuchen, die sich auf Moose (*Fontinalis*, *Cinclidotus*) und Algen (*Cladophora*) erstreckten, zu einer Ablehnung der Blackmannschen Theorie: Zunächst zeigte es sich, daß die Assimilation nicht den von *Blackmann* postulierten Verlauf zeigt (geradliniger Anstieg und dann paralleler Verlauf zur horizontalen Achse des Koordinatensystems), vielmehr findet er erst steilen und dann immer flacher werdenden Anstieg mit sanftem Übergang zur Horizontalen; es herrscht also annähernd logarithmischer Verlauf. Indes ist die Kurve nicht mit der für die Landwirtschaft so wichtigen Kurve von *Mitscherlich* identisch, bei der der Geschwindigkeitszuwachs proportional ist dem jeweils am höchsten Werte fehlenden Betrag. Weiterhin fand dann *Harder* im Gegensatz zu *Blackmann*, daß bei jedem Verhältnis von Lichtintensität und Kohlensäurekonzentration — das sind die beiden untersuchten Faktoren — die Assimilationsgeschwindigkeit durch Steigerung eines der beiden Faktoren erhöht werden kann, daß also nie einer sich so sehr im Minimum befindet, daß ein Anwachsen des andern wirkungslos bleibt. Jedoch zeigten die Harderschen Versuchsdaten, daß der Wirkungsgrad der einzelnen Faktoren nicht bei allen Konzentrationsverhältnissen gleich ist, sondern daß derjenige einen bedeutenderen Einfluß hat, der sich im Minimum befindet. „Bei starken Lichtintensitäten und schwachen Kohlensäurekonzentrationen wirkt daher eine Erhöhung der Konzentration der letzteren stärker und umgekehrt.“ Daraus folgt, daß man für die Assimilationskurve zwei Bezirke unterscheiden kann, einen, bei dem die Kohlensäurekonzentration und einen, bei dem die Lichtstärke für den Erfolg maßgebend ist. Dazwischen liegt ein Bereich, wo sie sich einander das Gleichgewicht halten und wo die Auswertung am ökonomischsten ist: „Das Produkt aus der Konzentration der Lichtenergie und der Kohlensäure, das zur Erzielung der im Augenblick erreichten Assimilationsgeschwindigkeit erforderlich ist, ist hier niedriger als bei irgendeiner anderen Kombination der Faktoren.“ Insgesamt betrachtet ergibt sich also aus all diesen Daten, daß das Minimumgesetz hier nicht gilt. *Harder* führt dies darauf zurück, daß es sich hier nicht um zwei Nährstoffe handelt, wofür ja das Gesetz von *Liebig* formuliert war, sondern um einen Nährstoff und einen Energiefaktor. *Stark.*



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft.

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.  
Copyright 1922 by Julius Springer in Berlin.

Heft 31. (Seite 663—678)

4. August 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Über die ersten Entwicklungsstufen des Menschen.  
Von *W. v. Moellendorff, Freiburg i. Br.* (Mit  
4 Abbildungen.) S. 663.

Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichs-  
anstalt im Jahre 1921. Von *Max Jakob, Berlin.*  
S. 669.

Besprechungen:

Goldschmidt, Richard, *Ascaris*. Eine Einführung

in die Wissenschaft vom Leben für Jedermann.  
Von *Peterfi, Berlin-Dahlem.* S. 676.

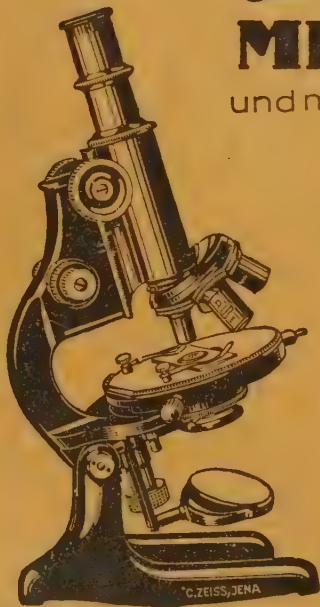
Bruns, Ferdinand, Die Zeichenkunst im Dienst  
der beschreibenden Naturwissenschaften. Von  
*Felix Pinkus, Berlin.* S. 676.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Über das Modell der Wasserstoffmolekel. Von  
*M. Born, Göttingen.* (Mit 1 Abbildung.) S. 677.

## ZEISS MIKROSKOPE

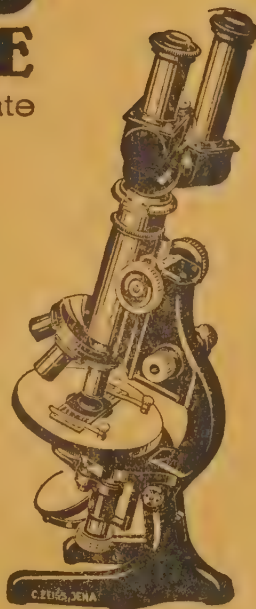
und mikroskopische Hilfsapparate



**Lupen  
Projektionsapparate  
Epidiaskope  
Photo - Objektive**

usw.

Druckschriften auf  
Wunsch kostenfrei



### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 100.— für das dritte Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 9.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 9.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postscheck für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 2020 Julius Springer.  
Konten: für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

## Voigt & Hochgesang Göttingen

**Fabrik f. Dünnschliffe,  
Kristallpräparate von  
eigenem, sowie von  
geliefertem Material.** (260)

Schul- und Studiensammlungen von ersten Fachleuten der Wissenschaft zusammengestellt. Kataloge stehen kostenfrei zur Verfügung.

## Mineralien, Kristalle und Gesteine

einzelnen und in ganzen Sammlungen.

Spez.: Vogtl. u. sächs. Vorkommen, sowie Graptolithen offeriert preiswert und in reicher Auswahl  
**Mineralien-Niederlage A. Jahn**  
Plauen i. V., Oberer Graben 9 (259)

## Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

**zu Kaufen gesucht.** Angebote unter  
Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

Die Anschaffung des (258)

### Handwörterbuchs der Naturwissenschaften

10 Bände in Halbleder 6000 M., Auslandspreis 18000 M.  
erleichtert durch Verteilung des Betrages auf mehrere Jahre oder Amortisation in 10 0/0 Monatsraten. Das Werk wird sofort vollständig geliefert.

**H. Meusser, Buchhandlung**  
Berlin W 57/9, Potsdamer Straße 75.

### Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

#### Wissenschaftliche Abhandlungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Band V. Heft 1. Mit zahlreichen Textabbildungen. 1921. Preis M. 80.— (und Teuerungszuschlag).

Band V. Heft 2. Mit zahlreichen Textabbildungen. 1922. Erscheint im August.

#### Inhaltsübersicht.

Theorie des Zuckerrefraktometers zur Ermittlung der scheinbaren Trockensubstanz in Zuckersäften. Von O. Schönrock. — Der Zahlenwert der Gaskonstante. Von F. Henning. — Über die Wärmeausdehnung der Aluminium-Zink-Legierungen. Von Alfred Schulze. — Über die Balmerserie des Wasserstoffs. Von E. Gehrcke und E. Lau. — Über die Feinstruktur von Bandenspektren. Von E. Gehrcke und L. C. Glaser. — Die Rolle des Kristallwassers beim Verhalten des Permutits. Von A. Günther-Schulze. — Die magnetischen Eigenschaften von Elektrolyteisen. Von E. Gumlich. — Die Polarisationseigenschaften des Tantals. Von A. Günther-Schulze. — Vergleich der Temperaturskala der PTR mit der thermodynamischen Skala zwischen 0° und 100°. Von F. Henning und W. Heuse. — Über Erscheinungen beim Sehen kontinuierlicher Helligkeitsverteilungen. Von F. Gehrcke und E. Lau. — Temperaturmessungen unterhalb 0°. Von F. Henning. — Die veränderliche Feinstruktur der Balmerserie. Von E. Gehrcke und E. Lau. — Die Zerstreuung von  $\beta$ -Strahlen. Von H. Geiger und W. Bothe. — Elektrische Leitfähigkeit verschiedener Mischungen von Quecksilberisotopen. Von W. Jaeger und H. von Steinwehr. — Untersuchungen an Chromkohlenstoffstählen für permanente Magnete. Von E. Gumlich. — Reichweitmessungen an  $\alpha$ -Strahlen. Von H. Geiger. — Über die Abhängigkeit des Widerstandes reiner Metalle von der Temperatur (II. Teil). Von L. Holborn. — Die Schallgeschwindigkeit in Luft- und Wasserstoff von 0° C und 1 Atm. Von E. Grüneisen und E. Merkel. — Leuchtbahnen von  $\alpha$ -Strahlen in Kristallen. Von H. Geiger und A. Werner. — Bestimmung von strömenden Gas- und Flüssigkeitsmengen aus dem Druckabfall in Rohren. Von M. Jacob. — Die Abhängigkeit der Basengleichgewichte im Permutit von der Konzentration der umgebenden Lösung. Von A. Günther-Schulze. — Die Ermittlung der Selbstkomplexbildung in wässrigen Lösungen von Kupfersalzen mit Hilfe des Permutits. Von A. Günther-Schulze. — Kurvenform und Phase der Schwingungen in Röhrendendern. Von E. Alberti und G. Zickner. — Über photographische  $\beta$ -Strahlenmessung. Von W. Bothe.



## Über die ersten Entwicklungsstufen des Menschen.

Von Wilh. von Möllendorff, Freiburg i. Br.

Die ersten Entwicklungsstufen des menschlichen Embryos sind uns unbekannt; ihre unmittelbare Erforschung stößt auf die größten Schwierigkeiten, vor allem, weil uns Material aus der ersten Entwicklungszeit nur gelegentlich infolge von künstlicher oder natürlicher Schwangerschaftsunterbrechung in die Hände kommt. Die Vergleichung mit entsprechenden Ausbildungsstufen bei Tieren bringt uns gerade in diesen Fragen vielfach nicht zu endgültigen Aufschlüssen; denn in den ersten Stufen ist die Entwicklung vielfach von Bedingungen abhängig, die nicht im Keime selbst liegen, sondern vom Bau und von den Vorgängen im mütterlichen Organismus weitgehend bestimmt werden. So ist anscheinend die Länge des Eileiters, der Bau der Uterushöhle von maßgebendem Einfluß auf die Art, wie sich der Keim mit der Uteruswand in Beziehung setzt, und das Ergebnis dieses Vorganges ist wieder maßgebend für die Umbildungen, die der Keim in der ersten Entwicklungszeit durchmacht. Tatsächlich gibt es in keinem Teile der Säugetierentwicklung eine so große Mannigfaltigkeit wie in der Bildung der sog. Keimhüllen, d. h. der Anhangsgebilde an die Embryonalanlage, die nur der intrauterinen Ernährung dienen. Aus diesem Grunde können wir uns zuverlässige Vorstellungen über diesen Teil der menschlichen Entwicklung nur durch Untersuchungen an entsprechenden Bildungsstufen des Menschen selbst verschaffen.

Die bisher bekannten jüngsten Stadien menschlicher Entwicklung sind durchweg schon in der Schleimhaut der Gebärmutter eingelagert. Von den vorausgehenden Schicksalen des menschlichen Eies wissen wir nichts.

Wir müssen für diese Zeit die Erfahrungen an anderen Säugern heranziehen. Hier findet bei allen genau untersuchten Formen die Vereinigung der Samen- und Eizelle in den oberen Abschnitten der Eileiter statt (*Befruchtung*). Die Voraussetzung für eine Befruchtung muß also auch beim Menschen die gleichzeitige Anwesenheit von Spermien und einer Eizelle an diesem Orte sein. Nun wissen wir, daß beim Menschen tatsächlich zu jeder Zeit im Jahre eine erfolgreiche Begattung stattfinden kann, obwohl nach allen Erfahrungen der neueren Untersucher beim menschlichen Weibe in der Regel nur alle vier Wochen eine Eizelle aus dem Eierstock in den Eileiter gelangt. Dieser Vorgang, den wir als *Ovulation* bezeich-

nen, ist von regelmäßigen Veränderungen in der Schleimhaut des Uterus und im Eierstock gefolgt. Im Eierstock bildet sich der sog. gelbe Körper (*corpus luteum*), die Uterusschleimhaut nimmt unter typischen Veränderungen in Drüsen und Bindegewebe sehr stark an Dicke zu (sog. prämenstruelle Sekretionsphase) und wird, falls keine Befruchtung der aus dem Eierstock ausgestoßenen Eizelle erfolgt, zum größten Teil im Zusammenhang mit einer stärkeren oder schwächeren Blutung abgestoßen (*Menstruation*). Nach Beendigung der Blutung wird die Schleimhaut von den übriggebliebenen basalen Teilen allseitig neu gebildet. Aus den neueren Untersuchungen (*Fraenkel*<sup>1</sup>), *Meyer* und *Ruge*<sup>2</sup>), *Schroeder*<sup>3</sup>) u. a.) ist es sicher geworden, daß die Ovulation in die Zeit zwischen zwei Menstruationen fällt, nicht aber zu gleicher Zeit mit der Menstruation stattfindet, wie man früher allgemein annahm. Das genauere Datum der Ovulation innerhalb der 28 Tage, die zwischen zwei Menstruationen liegen, steht noch nicht fest. *Fraenkel* nahm den 18. bis 19. Tag, *Schroeder* den 14. bis 16., *Grosser*<sup>4</sup>) neuerdings mit *Meyer* und *Ruge* (1913) den 6. bis 8. Tag dafür an.

Nehmen wir nun mit *Schroeder* an, daß etwa am 15. Tage nach Menstruationsbeginn eine Eizelle in den oberen Teil eines Eileiters gelangt, so müßte die Befruchtung jeweils nur zu dieser Zeit möglich sein. Tatsächlich haben aber die Untersuchungen der neueren Zeit (*Siegel*<sup>5</sup>), *Pryll*<sup>6</sup>), *Jaeger*<sup>7</sup>) und *Zangemeister*<sup>8</sup>) an zusammen über 1000 Beobachtungen ergeben, daß 30 bis 60 % aller erfolgreichen Begattungen zwischen den 6. bis 10. Tag nach Menstruationsbeginn fallen. Die große Zahl derjenigen Fälle, in denen auch Befruchtungen an ganz anderen Begattungsterminen zustandekommen, zwingt uns eine der drei folgenden Hilfsannahmen zu machen: entweder können sich die bei einer Begattung in die weiblichen Geschlechtswege hineingelangten Spermien solange lebend erhalten, bis eine Eizelle an den Befruchtungsort gelangt. Diese Annahme ist früher sehr verbreitet gewesen, wird aber heute besonders nach den Untersuchungen von *Hoehne* und

<sup>1</sup>) L. Fraenkel 1911, Zentralbl. f. Gynaekol.

<sup>2</sup>) E. Meyer u. Ruge 1913, Zentralbl. f. Gynaekol., 37.

<sup>3</sup>) E. Schroeder 1914, Monatsschr. f. Gebh. u. Gyn., 39.

<sup>4</sup>) O. Grosser 1921, A. f. Gynaekol., 110.

<sup>5</sup>) W. Siegel, Gewollte und ungewollte Schwangerschaften der weiblichen Fruchtbarkeit usw., Berlin 1917.

<sup>6</sup>) W. Pryll 1916, Münch. med. Wochschr.

<sup>7</sup>) F. Jaeger 1917, Zentralbl. f. Gynaekol., 41.

<sup>8</sup>) W. Zangemeister 1917, A. f. Gynaekol., 107.

*Behne*<sup>9)</sup>, die den Spermien eine Lebensdauer von höchstens 2 bis 3 Tagen zubilligen, größtenteils abgelehnt. Jedenfalls ist es wohl nicht glaubhaft, daß Spermien 3 bis 4 Wochen lebensfähig in der Tube verweilen können; das wäre aber notwendig, um durch diese Annahme alle Abweichungen vom Konzeptionsoptimum zu erklären. Zweitens käme in Betracht, daß die Eizellen längere Zeit am Leben bleiben können, ohne ihre Befruchtungsfähigkeit zu verlieren; auch diese Möglichkeit ist neuerdings besonders von *O. Grosser* nach den Erfahrungen bei Säugetieren abgelehnt worden.

Endlich könnte angenommen werden, daß auch außerhalb des normalen Ovulationstermines unter dem Einfluß der Begattung Ovulationen stattfinden. Diese Möglichkeit ist besonders von *Triepel*<sup>10)</sup> betont worden, da man sie auch bei manchen Tieren (Kaninchen, Katze) als die Regel antrifft. Nimmt man für den Menschen diese Möglichkeit als gegeben an, so sind wir durchaus nicht gezwungen, aus dem Bestehen eines Konzeptionsoptimums um den 8. Tag des Menstruationszyklus zu schließen, daß dieses Datum auch dasjenige der normalen Ovulation sei. Durch die Untersuchungen der neueren Zeit (*R. Schroeder, Ruge*<sup>11)</sup>) ist es doch sehr wahrscheinlich gemacht worden, daß in der Regel, d. h. beim Ausbleiben einer Schwangerschaft, der 14. bis 16. Tag des Menstruationszyklus die Ovulation bringt. Nun besteht kurz nach der Menstruation nach allem, was wir wissen, bei vielen Frauen ein erhöhtes sexuelles Bedürfnis, gleichzeitig befindet sich im Ovarium ein der Reife naher Follikel, während diese beiden Momente in den übrigen Phasen des Zyklus nicht in so ausgesprochenem Maße zusammentreffen werden. Man könnte also annehmen, daß das nachgewiesene Konzeptionsmaximum in der Zeit um den 9. Tag dadurch zustandekommt, daß unter dem Einfluß des zu dieser Zeit erhöhten Geschlechtsverkehrs die Eizellen früher aus dem Eierstock befreit werden können, als dies ohne die hinzukommenden Reize eintreten würde. Wir würden mit dieser Annahme jedenfalls ein Verständnis dafür bekommen können, wieso es in der Zeit zwischen Menstruationsbeginn und Ovulationstermin (14 Tage) überhaupt zu einer Befruchtung kommen kann. Fällt die Begattung in die Zeit vom 16. Tage bis zum Eintritt der Menstruation, so muß wohl die bei der Ovulation freiwerdende Eizelle in solchen Fällen befruchtungsfähig geblieben sein. Tatsächlich nimmt ja die Befruchtungswahrscheinlichkeit gegen den Menstruationstermin hin erheblich ab. In dieser Zeit macht die weitere Ausbildung der noch im Eierstock befindlichen Eizellen (wahrscheinlich unter dem Einflusse des gelben Körpers) Halt, so daß in dieser Zeit auch intensiver

Geschlechtsverkehr in der Regel nicht zu einer vorzeitigen Ovulation führen dürfte.

Die Schwierigkeiten, das Schicksal der menschlichen Frucht zu verfolgen, sind in der Zeit nach der Befruchtung nicht geringer. Bei allen Wirbeltieren schließt sich an die Befruchtung die sog. *Furchung* an, d. h. durch aufeinanderfolgende Teilungen wird die zuerst einheitliche Masse der Eizelle in kleinere Einheiten, die sog. *Blastomeren* zerlegt, ohne daß dabei der ganze Keim sich vergrößert. *Hubrecht*<sup>12)</sup> fand im *Semons* Material das sog. Vierzellenstadium eines Makaken; es ist dies das einzige Objekt aus dieser Entwicklungsperiode, das wir von Primaten kennen. Es genügt aber, um die Annahme zu sichern, daß in dieser Zeit das Entwicklungsgeschehen beim Menschen demjenigen bei anderen Säugern völlig analog vor sich geht. Der Keim muß in dieser Zeit eine im Vergleich zu seiner Größe (beim Menschen eine Kugel von etwa 0,3 mm Durchmesser) recht beträchtliche Strecke durchwandern, bis er durch den, beim Menschen etwa 120 mm langen Eileiter in den Uterus hineingelangt. Hierbei wird der Keim nach der Ansicht der meisten Forscher durch die Wirkung des Flimmerstromes, nach der Ansicht *Sobottas*<sup>13)</sup> durch Zusammenziehungen der Eileiterwand in Bewegung gehalten. Bei Tieren dauert die Wanderung meist 3 bis 3½ Tage, beim Hunde anscheinend 8 bis 10 Tage; für den Menschen ist diese Zeit unbekannt. Mit der Annahme *Grossers*, daß 10 Tage auf die Wanderung durch den Eileiter, 4 Tage auf ein freies Verweilen im Uterus zu rechnen seien, lassen sich nicht alle Objekte, von denen man den Menstruationstermin und den Tag der Begattung kennt, in Einklang bringen. Es ist fraglich, ob es möglich ist, eine bestimmte Anzahl von Tagen für diese Periode anzusetzen. Vielmehr dürften hier Ausgleichsmöglichkeiten vorliegen, wie ja auch *O. Grosser*<sup>4)</sup> hervorhebt.

Von besonderer Bedeutung scheint es nun für den Keim zu sein, daß er sich in dieser Zeit für die *Implantation* vorbereitet. Als *Implantation* bezeichnen wir die Festsetzung des Keimes im Uterus, wobei die Überleitung von Nahrungstoffen aus der Mutter in den Keim ihren Anfang nimmt. Wir konnten uns auch über diesen Vorgang bisher nur durch die Vergleiche mit tierischem Material eine gewisse Vorstellung machen: das Ei *Sch.*, ein sehr junges Entwicklungsstadium des Menschen, das ich im vergangenen Jahr durch die Umsicht des Herrn Med.-Rat *Schoenig-Donaueschingen* zu untersuchen Gelegenheit hatte, ermöglicht uns zum ersten Male, eine ganze Reihe von wichtigen Vorgängen bei der *Implantation* unmittelbar beim Menschen zu erläutern. Zu seinem Verständnis war aber die Kenntnis des umfangreichen tierischen Materials erforderlich.

<sup>9)</sup> *O. Hoehne* und *K. Behne* 1914, Zentralbl. f. Gynaekol., 38.

<sup>10)</sup> *H. Triepel*, Anat. Anz. 48.

<sup>11)</sup> *Ruge* II, C, Arch. f. Gynaekol., 109.

<sup>12)</sup> *Hubrecht* 1903 in *Selenka*, Menschenaffen, 5. Lieferung, Wiesbaden.

<sup>13)</sup> *J. Sobotta*, Anat. Anz. 47, 1914.



Aus der Fülle der Tatsachen, die uns über die tierische Implantation bekannt sind, hebe ich hier nur einige wesentliche Dinge hervor. Nach Bonnet unterscheiden wir verschiedene Typen der Einbettung (s. Fig. 1—3); die Keimblase kann das ganze Lumen des Uterus ausfüllen, wobei sich die Ernährungsorgane der Keimblase entweder allseitig gleichmäßig oder nur an bestimmten Stellen mit der Schleimhaut in Beziehung setzen.

bettung des Keimes in Betracht kommt. Aus Mangel an Material war bis in die allerletzte Zeit noch nicht allseitig befriedigend bewiesen, welchem der beiden Typen, die wir unter den Nagern bei der Maus einerseits, beim Meerschweinchen andererseits am deutlichsten ausgeprägt finden, die menschliche Entwicklung folgt. Es ist das Verdienst des Grafen Spee<sup>14)</sup>, seit langem die Implantationsweise des Meerschweinchenkeimes als

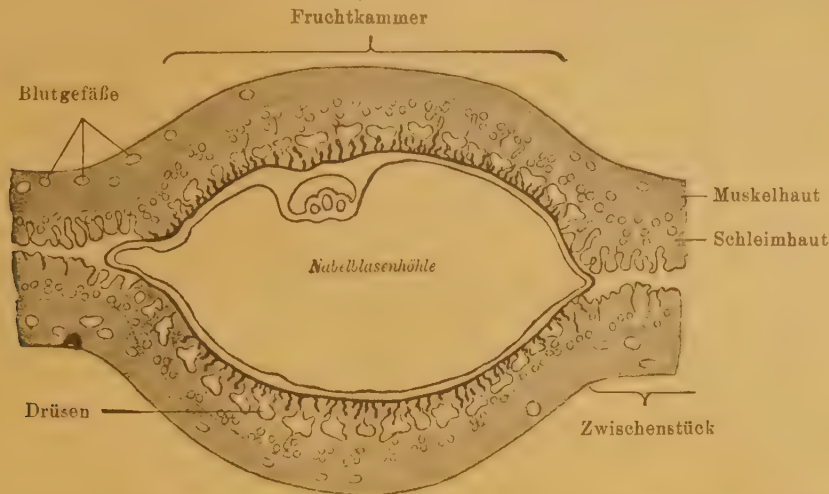


Fig. 1. Schema der zentralen Entwicklung (Hund) aus Bonnet, Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte.

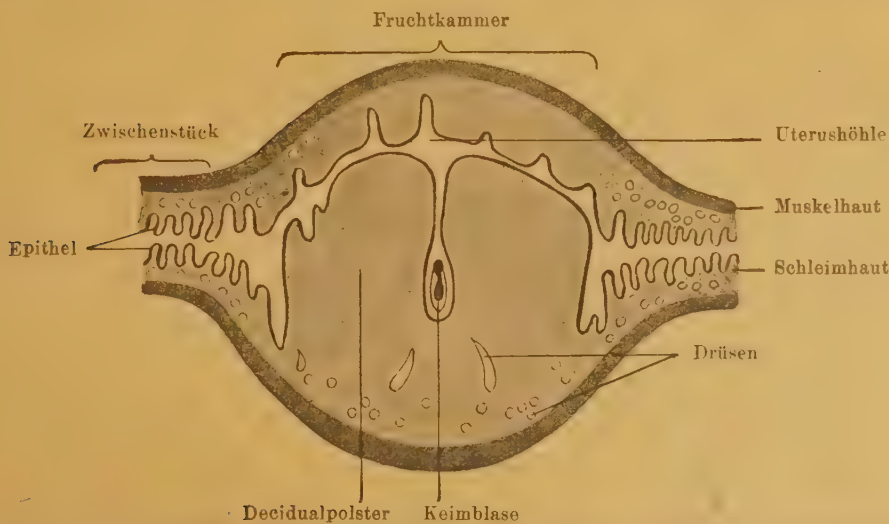


Fig. 2. Schema der exzentrischen Entwicklung (Maus) aus Bonnet, Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte.

Besonders die frühzeitig recht großen Keimblasen der Schweine, Wiederkäuer und Raubtiere folgen diesem Typus. Auch das Kaninchen gehört in diese Gruppe, während bei anderen Nagern die Keimblasen anfangs nur mit einem Teil der Uteruswand in Verbindung treten (exzentrische und interstitielle Implantation). Diese Formen haben für uns so großes Interesse, weil beim Menschen, wie wir seit langem wissen, zuerst auch nur ein Teil der Uterusoberfläche für die Ein-

für den Menschen maßgebend betont zu haben. Die Richtigkeit dieser Anschauungen ist zuletzt durch die Befunde am Ei Sch., wie ich glaube, endgültig bewiesen worden. Bei den anderen Typen nämlich, denen das Mäuseei folgt, wird die Keimblase von zwei mächtigen Falten der Uterusschleimhaut umschlossen, so daß auf diese Weise eine Implantationshöhle von der Gesamtlichtung

<sup>14)</sup> F. Graf Spee 1915 in Doederlein, Handb. d. Geburtshilfe, dort weitere Literatur.

des Uterus abgetrennt wird; auch beim Menschen wurde früher ein derartiger Vorgang für die Einbettung angenommen, was aber heute als endgültig widerlegt gelten darf. Die menschliche Keimblase frißt sich ebenso wie die Meerschweinchenkeimblase aktiv in die Schleimhaut des Uterus ein.

Nach den Untersuchungen des Grafen *Spee*<sup>15)</sup> besitzt der Meerschweinchenkeim kurz vor der Implantation eine kugelige Gestalt und besteht aus einem kleinen Zellhaufen (Embryonalknoten, aus dem sich der Embryonalkörper selbst später entwickelt); der Keim ist aber an seiner Oberfläche von einem flachen Zellenblatt (Trophoblast) überkleidet; der Trophoblast läßt an einer Stelle den Embryonalknoten unbedeckt. Da die erwähnte Deckschicht bei der Implantation eine besonders aktive Rolle spielt, aber nicht die ganze

Für diesen ganzen Vorgang ist also offenbar eine bestimmte *Implantationsreife* des Keimes die Voraussetzung; diese kann erst mit der Sonderung des Keimmaterials in Embryonalknoten und Trophoblast entstehen, wodurch gleichzeitig die Gewähr gegeben ist, daß der Keim nicht schon im Eileiter in das mütterliche Gewebe eindringt. Die bedauerlichen, gar nicht so seltenen Fälle von Eileiterschwangerschaft beim Menschen sind danach so zu erklären, daß hier durch irgendein Hindernis der Keim in seiner Wanderung solange aufgehalten worden ist, daß er sich in implantationsreifem Zustande noch im Eileiter befand.

Das Ei *Sch.* gibt uns nun ein Momentbild aus dem Einbettungsvorgang, das wir nur verstehen können, wenn wir es im Rahmen des ganzen Vorganges würdigen. Das Übersichtsbild

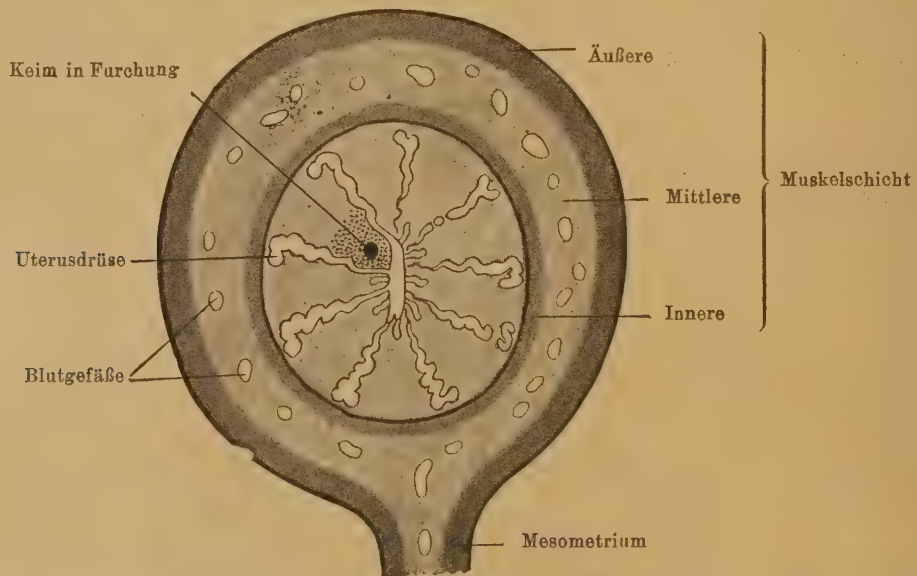


Fig. 3. Schema der interstitiellen Entwicklung (Meerschweinchen) aus *Bonnet*, Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte.

Oberfläche des Keimes überkleidet, so ist der Keim an der Oberfläche auch mit verschiedenen Eigenschaften ausgestattet. *Spee* unterscheidet den von Trophoblast bekleideten *Implantationspol* von dem trophoblastfreien *Plazentapol*. Vor dem Implantationspol schmilzt das mütterliche Gewebe bei der Implantation geradezu hinweg, wie wenn mit einer glühenden Nadel in Wachs gestochen wird. Es bildet sich zuerst ein Loch im Epithel, in das der Keim eindringt; während der Trophoblast sich nun durch Zellvermehrung ausdehnt, zerfällt in seiner Umgebung das mütterliche Bindegewebe solange, bis die Höhlung die zur Aufnahme der ganzen Keimblase erforderliche Größe bekommen hat. Erst dann rückt auch der Embryonalknoten in die Implantationshöhle nach.

<sup>15)</sup> *F. Graf Spee*, 1901, *Zeitschr. f. Morph. und Anthropol.* 3.

(Fig. 4) ist aus Schnitten rekonstruiert, die auf der dargestellten Ansicht genau senkrecht orientiert sind. Der Keim besitzt eine etwa birnförmige zentrale Masse (Chorionmesoblast), die, hier noch ohne größere Hohlräume, erst später unter Verflüssigung und Vergrößerung des Inhaltes zur sog. Chorionhöhle wird. Bei unserem Objekt besteht dieser Bezirk aus einem faserigen, zellarmen Gewebe. Von dieser Masse erstreckt sich in allen Richtungen ein dicker, durch zahlreiche Höhlen zerklüfteter Wall, der aus saftigen, voneinander gut abgrenzbaren Zellen besteht; dieser Wall ist der Trophoblast, der hier in einer, beim Menschen bisher nicht beobachteten Massigkeit vorhanden ist. Die Ausläufer des Trophoblastes erstrecken sich überall bis an die Grenze des mütterlichen Gewebes, das mit einem in der Zeichnung dunkel dargestellten Saum gegen den von der Keimblase eingenommenen



Hohlraum abgegrenzt ist. Die eigenartige Birnform der zentralen Fasermasse erklärt sich aus der Anordnung des ganzen Eies; das schmale Ende der Birne ist nämlich nach der Oberfläche gerichtet und reicht hier bis über die Grenze der Implantationshöhle hinaus; dieses Ende ist nicht mit Trophoblast überkleidet, sondern mit eigenartigen, leider sehr stark zersetzten Zellen, deren Gesamtheit nach genauer Rekonstruktion von mir<sup>16)</sup> als Embryonalknoten gedeutet wurde. Dieser liegt also noch nahe der Uterusoberfläche, am Grunde einer mit mütterlichen Zelltrümmern

schaffen, fast vollendet. Sobald genügend mütterliches Gewebe aufgelöst ist, wird der vorläufig noch im geschützter Lage befindliche Embryonalknoten in die Höhlung hineingezogen werden, wobei sich die jetzt noch birnförmig gestreckte Keimblase abrunden wird.

Ich will nicht versäumen zu betonen, daß diese Erklärung nicht als endgültig zu betrachten ist, da das Material durch Fehlgeburt gewonnen ist; wir wissen in solchen Fällen nie sicher, in welchem Umfange die auch an unserem Objekte erkennbaren Absterbeerscheinungen das normale



Fig. 4. Rekonstruktion des Ei Sch., quer zur Schnittrichtung bei 50facher Vergrößerung (aus W. v. Möllendorff, Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte Bd. 62, S. 356).

angefüllten kraterförmigen Einsenkung (Implantationskrater). Meine Deutung des ganzen Objektes fasse ich in folgendem kurz zusammen. Der Keim ist noch nicht fertig implantiert; er ist mit dem Implantationspol voran, erst durch das Epithel, dann in das Bindegewebe der Uterusschleimhaut eingedrungen, wobei der nicht von Trophoblast überkleidete Embryonalknoten dem durch fermentative Wirkungen das mütterliche Gewebe auflösenden Implantationspol nachfolgt. Der Trophoblast hat sich nun enorm entwickelt und seine erste Aufgabe, eine Höhlung zu

<sup>16)</sup> S. d. genaue Darstellung in Zeitschr. f. Anat. u. Entw.-Gesch., 62, 352—405.

Bild verändert haben. Mögen aber auch manche Einzelheiten der von mir an anderer Stelle ausführlich gegebenen Deutung unrichtig sein, es gibt einige Gründe, die uns das Objekt als im wesentlichen normal erscheinen lassen. Einmal illustriert es den Vorgang der Implantation zum ersten Mal im einzelnen und zeigt ihn so, wie wir ihn uns im wesentlichen vorher vorgestellt haben; zweitens rückt das Objekt durch seine Vorgeschichte an die Stelle des jüngsten der bisher beschriebenen menschlichen Keime.

Es wurde 13—14 Tage nach der Begattung, 34 Tage nach Beginn der letzten Menstruation ausgestoßen. Da man etwa 24 Stunden bis zur erfolgten Befruchtung,

24 Stunden auf Rechnung der Vorbereitung zur Fehlgeburt rechnen kann, so würde der Keim ein wahres Alter von 11 bis 12 Tagen besitzen. Nach der gleichen Berechnung ist das bisher als jüngstes geltende Objekt von *Bryce-Teacher*<sup>17)</sup> 13 bis 14 Tage alt.

Als dritten Grund, das Ei *Sch.* für normal zu halten, führe ich seine Größe an, die ebenfalls bedeutend geringer ist, als diejenige aller sonst bekannten menschlichen Objekte. Immerhin wird es gut sein, weiter auf Zufälle zu hoffen, die uns solche junge Stadien bescheren mögen, ehe man die Befunde am Ei *Sch.* für endgültig ansieht.

Besonders hinweisen möchte ich noch auf einige Punkte; der Keim muß zur Zeit des Implantationsbeginnes nicht viel größer gewesen sein als die befruchtete Eizelle. Man kann das aus der geringen Größe der Öffnung schließen, die am Grunde des Implantationskraters beim Ei *Sch.* noch von Embryonalknoten ausgefüllt wird. Beim Ei von *Bryce-Teacher* ist diese Stelle auch noch zu erkennen, dort aber schon geschlossen, durch einen kleinen Pfropf, der sich aus den mütterlichen Gewebstrümmern gebildet hat. Der auffallende Unterschied, der sich beim Vergleich mit anderen, älteren Objekten in der Beschaffenheit des Abschlusses gegen die Uterushöhle ergibt, ist auf die weitgehenden Umwandlungen zurückzuführen, die gerade in diesem Gebiete der mütterlichen Schleimhaut stattfinden. Ich habe diese Umwandlungen ebenfalls zu erklären versucht<sup>18)</sup>.

Der Zustand der mütterlichen Schleimhaut gleicht bei dem wertvollen Objekte auffallend dem Befunde bei dem erwähnten Ei von *Bryce-Teacher* und ist in beiden Fällen durch die außerordentlich starken sogenannten prämenstruellen Veränderungen charakterisiert.

Im späteren Verlaufe der Schwangerschaft findet man im Bindegewebe der Uterusschleimhaut stets die sog. Deziduazellen, d. h. durch Aufnahme von Glykogen und anderen Nährsubstanzen sehr groß gewordene Bindegewebszellen. Solche Zellen sind nun bei den meisten jungen menschlichen Schwangerschaftsstadien aus dem ersten Monate der Schwangerschaft erst im ersten Entstehen begriffen, während diese Zellen sowohl beim Ei von *Bryce-Teacher* wie beim Ei *Sch.* sehr stark entwickelt sind. Solche Zellen bilden sich nun aber im Verlaufe jedes Menstruationszyklus gegen Ende der Sekretionsphase, d. h. kurz vor Beginn der Menstruation, aus. Es ist daher nicht berechtigt, aus dem Vorhandensein der Deziduazellen etwa den Schluß zu ziehen, daß die beiden genannten Objekte tatsächlich viel älter seien, nur durch die zur Schwangerschaftsunterbrechung führenden Umstände in die vorliegende Größe und Gestalt umgewandelt seien.

Vielmehr mahnen die hier stark ausgeprägten prämenstruellen Veränderungen an die Vorgeschichte des Eies zu denken und geben vielleicht ein Verständnis dafür, warum es in diesen Fällen zur Unterbrechung der Schwangerschaft kam. Das Ei *Sch.* wurde erst 6 Tage vor der erwarteten Menstruation befruchtet, also erst zu einer Zeit, wo die prämenstruellen Umwandlungen der Uterusschleimhaut schon in vollem Gange waren; es spricht nun sehr vieles dafür, daß durch die Befruchtung die Umwandlungen in der Uterusschleimhaut verlangsamt werden — auf welchem Wege, das wissen wir allerdings nicht. Auch beim Ei *Sch.* wird sich dieser Einfluß geltend gemacht haben, nur reichte seine Stärke offenbar nicht aus, um definitiv die menstruelle Abstoßung der Schleimhaut zu verhindern. Ganz ähnliche Umstände mögen die Abstoßung des Eies von *Bryce-Teacher* bewirkt haben, wie *Grosser* auch vermutet hat. Es wäre also denkbar, daß die starken prämenstruellen Schleimhautveränderungen, die sich in beiden Objekten vorfinden, mit dieser späten Implantation zusammenhängen. Man kann wohl annehmen, daß eine ganze Reihe von jungen Keimen auf diese Weise zugrunde gehen, ohne daß die Mütter diesen Vorgang bemerken oder auch nur die Möglichkeit in Betracht ziehen, daß sie schwanger sind. Ich stimme auch darin *Grosser* bei, daß etwa der 20. bis 25. Tag des Menstruationszyklus die günstigsten Verhältnisse darbietet, damit eine regelrechte Implantation des Keimes stattfinden kann; damit würde sich auch die oben erörterte Tatsache erklären, daß die Begattungen in der ersten Hälfte des Menstruationszyklus häufiger zu einer ungestört verlaufenden Schwangerschaft führen als Begattungen, die in dem Abschnitte kurz vor der Menstruation stattfinden.

Endlich hat uns das Ei *Sch.* gezeigt, daß im Verlaufe der ersten Stadien der Implantation auch beim Menschen ein intensiver Gewebszerfall stattfindet, der sich wahrscheinlich nicht nur auf das mütterliche Gewebe, sondern auch auf erhebliche Massen des Trophoblastes erstreckt. Wo bleiben die Stoffe, die beim Zerfall dieser Gewebsmassen frei werden? Diese Stoffe können nur einen Weg verfolgen, nämlich in die mütterlichen Gewebssäfte und in das mütterliche Blut eindringen. So wird das Blut der Mutter gerade in der Zeit der Implantation und in den anschließenden Perioden, bis der Ausbau der Plazenta fertiggestellt ist, fortdauernd von solchen Zerfallstoffen überschwemmt. Es wäre denkbar, daß die gerade im Beginne der Schwangerschaft auftretenden Vergiftungserscheinungen (Erbrechen, Schwindelgefühl u. a.) das Ergebnis der Einwirkung solcher Stoffe auf das Gehirn der Mutter darstellen. In der zweiten Hälfte der Schwangerschaft, wo die Schwangerschaftsbeschwerden erheblich geringer zu sein pflegen, ist auch die Zerstörungskraft des Trophoblastes

<sup>17)</sup> *Bryce, Th. H., and Teacher, J. H.* 1909, An early ovum imbedded in the decidua, Glasgow.

<sup>18)</sup> *W. von Möllendorff* 1921, Zeitschr. f. Anat. u. Entw.-Gesch. 62, 506—532.



fast erloschen, der Nahrungsaustausch zwischen Mutter und Kind ist geregelt.

Eine Reihe weiterer wichtiger Fragen, zu denen die Befunde am Ei Sch. Stellung zu nehmen aufforderten, führen zu weit in das spezielle Untersuchungsgebiet der Embryologie hinein, als daß sie an dieser Stelle erörtert werden könnten. War es möglich, eine Reihe bisher strittiger Probleme an diesem Objekte zu lösen, so sind durch seine Kenntnis neue Fragen entstanden. Auch hier wird die Zeit durch die Zusammenarbeit der Ärzte und der Embryologen allmählich die Lücken ausfüllen, die heute noch eine vollständige Übersicht über die menschliche Primitiventwicklung unmöglich machen.

## Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1921<sup>1)</sup>.

### A. Arbeiten der Abteilung I (Optik u. Strahlung).

#### 1. Stille Entladung in Siemensröhren.

Die Ströme, die durch sinusförmige Wechselspannungen von der Frequenz 50 in Siemensröhren (Ozonröhren) hervorgebracht werden, wurden an Röhren, die mit Sauerstoff und Wasserstoff gefüllt waren, oszillographisch aufgenommen, der Effektivwert der Ströme bei Frequenzen von 50 bis 500 gemessen und als lineare Funktion der Effektivspannung dargestellt. Ferner wurde die Jodwasserstoffbildung durch stille Entladung im Siemensrohr studiert, indem ein Wasserstoffstrom über eine Jodvorlage in die Röhre geleitet wurde.

#### 2. Bestimmung der Konstanten des Stefan-Boltzmannschen Strahlungsgesetzes.

Es sind Versuche im Gange, um die Strahlungskonstante  $\sigma$  bei 1063° Strahlertemperatur gleichzeitig nach der Kurlbaumschen und der Paschen-Gerlachschen Methode zu messen. Hierdurch hofft man die erheblichen Differenzen zwischen den Werten von Kurlbaum-Valentiner und von Gerlach aufzuklären. Vorversuche zeigten, daß die Art des das Bolometer umgebenden Gases (Luft, Wasserstoff von Atmosphärendruck, Vakuum von 0,5 mm Hg) die Meßergebnisse um höchstens 1,5 % beeinflusst und daß auch die Kurlbaumsche „Methode des ersten Ausschlags“ keine wesentlichen Fehler bedingt.

#### 3. Lichteinheit und neuer Vakuumofen.

Die Vorarbeiten für die Darstellung einer neuen Lichteinheit durch die Hohlraumstrahlung bei bestimmter Normaltemperatur wurden in Angriff genommen. Warburg hatte ursprünglich als Ausgangstemperatur für die lichtelektrische Messung 1700° abs., als Wellenlänge  $\lambda = 0,656 \mu$

vorgeschlagen. Bei höherer Ausgangstemperatur und kleinerer Wellenlänge scheinen die Ausichten der Methode günstiger zu sein.

Der für die Darstellung der Lichteinheit erforderliche große Kohlevakuumstrahler ist mit Mitteln der Deutschen Beleuchtungstechnischen Gesellschaft von der Osramfabrik A gebaut und ausgeprobt worden. Damit die gekühlte zylindrische Buchse, die den hohen Strom dem Kohleheizrohr zuführt, der Wärmeausdehnung des Rohres nachgeben kann und doch mit diesem auf breiter Fläche sicheren Kontakt hat, wurde sie in das durch Längsschlitze radial federnde Rohrende eingeschoben und durch federnde Ringe angepreßt. Das Rohrende wird dabei nicht auf Biegung, sondern nur auf Zug und Druck beansprucht, die Stromzuführung sicher gekühlt und nicht, wie biegsame Kabelanschlüsse im Vakuum, vom Heizrohr zum Glühen gebracht.

#### 4. Spektraluntersuchungen.

Die Intensität der einzelnen Komponenten der Balmerreihe des Wasserstoffspektrums wurde nach dem Verfahren der Interferenzspektroskopie gemessen. Als Träger der Balmerreihe ergaben sich H-Atome. Um eine Erklärung für das Leuchten dieser Atome zu finden, wurden Strukturbilder der Balmerlinien bei der Temperatur der flüssigen Luft aufgenommen, wobei die einzelnen Komponenten viel schärfer erscheinen.

Zur Untersuchung des Viellinienspektrums des Wasserstoffes wurde durch einen Kunstgriff eine besonders lichtstarke Röhre hergestellt. Nach der Methode der Interferenzpunkte untersuchte Isotopen des Quecksilbers haben bisher keine Unterschiede ihrer Linienstruktur gezeigt.

#### 5. Das Verhältnis der Ladung zur Masse des Elektrons.

Bei der Erzeugung von Kathodenstrahlen durch primäre Röntgenstrahlen treten große technische Schwierigkeiten auf. Die von Straubel vorgeschlagene Erhitzung einer Wehneltkathode oder blanken Platins im Brennpunkt eines Spiegels durch die Strahlung eines Scheinwerfers mit Beck-Kohlenlampe erwies sich als bequemer und meßtechnisch brauchbar. Man erhält vom Vakuum unabhängige, nur durch die Temperatur bestimmte Elektronenstrahlen, und es entfällt auch die übliche Korrektur für elektrische Heizung der Wehneltkathode.

#### 6. Radioaktive Messungen.

Die Zerfallskonstante der Radiumemanation wurde ähnlich wie früher von Rutherford durch Kombination der Gammastrahlenmethode mit der Emanationsmethode neu bestimmt. Die Halbwertszeit der Radiumemanation beträgt hiernach auf etwa 1‰ genau 3,81 Tage, weicht also um etwa 1 % von dem bisher angenommenen Wert nach Rutherford-Curie ab.

Die Präzisionsmessung der Reichweiten aller bekannten  $\alpha$ -Strahler wurde zum Abschluß ge-

<sup>1)</sup> Auszug aus dem in Zeitschr. f. Instrumentenkunde 42, S. 65—82, 97—114 und 129—147 (1922) abgedruckten Tätigkeitsbericht.

bracht. Gewisse Abweichungen von der Geiger-Nuttalschen Beziehung zwischen Reichweite und Lebensdauer wurden einwandfrei festgestellt. Das durch  $\alpha$ -Teilchen erregte Leuchten von Kristallen wurde mikroskopisch bei 400facher Vergrößerung untersucht. Zur Messung sehr kleiner  $\beta$ -Strahlung in einem sehr kleinen Raum wurde ein photographisches Verfahren ausgebildet. Hiermit wurde die Zerstreuung von  $\beta$ -Strahlen in dünnen Metallfolien gemessen.

Auf einer vom *Sächsischen Bergamt* einberufenen Radiologentagung zur Vereinheitlichung der Messung der Radioaktivität von Quellen wurde die Reichsanstalt veranlaßt, Radiumnormallösungen von der Größenordnung  $10^{-9}$  g herzustellen und auszugeben, die als Standardlösungen für die genannten Messungen dienen sollen.

#### 7. Zuckerrefraktometer.

H. Krüß hat in einer Veröffentlichung nachzuweisen gesucht, daß das, von der Reichsanstalt im Jahre 1911 berechnete, von der Firma Carl Zeiß in Jena gebaute und inzwischen in der ganzen Welt verbreitete Zuckerrefraktometer zur Ermittlung der Trockensubstanz von Zuckerfabrikaten auf falscher Grundlage beruhe und falsche Resultate gebe. Zur Prüfung seiner Einwände wurden Dispersionsmessungen von Zuckerlösungen mit dem großen Heeleschen Spektrometer ausgeführt, die weitere Unterlagen für eine eingehende und genaue Theorie des Refraktometers ergaben und zu dem Schlußergebnis führten, daß das Zuckerrefraktometer gänzlich einwandfrei berechnet und konstruiert ist und richtige Werte liefert.

#### 8. Lichtbrechung von Quarz.

Von dem früher benutzten, optisch ausgezeichnet reinen Quarzprisma ist für das unsichtbare Spektrum bis  $2,9 \mu$  eine Reihe ultraroter Linien mit Beobachtungsfehlern von Bruchteilen einer Bogensekunde gemessen worden. Um diese Genauigkeit sichern zu können, müssen jedoch noch die Fehler der Meßschraube des verwendeten Spiegelspektrometers besonders bestimmt werden.

#### 9. Sphärometrische Untersuchungen.

Das Sphärometer liefert infolge der Unvollkommenheit der Schneiden an den Sphärometerringen für Konkavflächen etwas andere Werte als für Konvexflächen derselben Krümmung. Die daher an den Angaben der Sphärometer der Reichsanstalt erforderlichen Korrekturen wurden mit Hilfe von vier Gläserpaaren, deren jedes aus einer konvexen und einer konkaven Fläche von genau gleicher Krümmung besteht, für die Krümmungsradien 300, 100, 50 und 30 mm ermittelt. Ein besonderer Apparat zur genauen Messung der Krümmung von Kugelhohlflächen bis zu 750 mm Radius ist im Bau.

#### 10. Fernrohruntersuchungen.

Zur Prüfung von Prismengläsern auf ihre optische Leistungsfähigkeit wurde eine photo-

graphische Methode angewendet, indem das vom Prismenglas an verschiedenen Stellen des Bildfeldes erzeugte Bild eines geeigneten Prüfobjektes mit einem guten Anastigmaten photographiert wurde. Je nach der Art des Prüfobjektes erhält man Aufschluß über die Verschlechterung der Abbildung nach dem Rand des Gesichtsfeldes (was an 28 Prismenglaspaaren erprobt wurde) oder über die astigmatische Korrektion des Glases.

#### 11. Prüfungstätigkeit der Abteilung I.

Im Berichtsjahr wurden 130 stark radioaktive Präparate mit einem Gesamtgehalt von 1339 g Radiumelement und 20 schwach aktive Substanzen geprüft. Verlorengegangene Radiumpräparate zweier Krankenhäuser wurden mit einem besonderen Elektrometer gesucht und gefunden.

483 Lampen, Kohlenstifte, Flammen, Reflektoren, Leuchtmassen wurden photometrisch geprüft, darunter 36 Metallfadenlampen für Steuerbehörden. Die Flächenhelle einer radioaktiven Leuchtmasse war  $3,5 \cdot 10^{-6}$  HK/cm<sup>2</sup>, der kleinste bisher von der Reichsanstalt bei Prüfungen gemessene Wert.

Von 42 Gläsern und optischen Geräten wurde der Lichtverlust durch Reflexion und Absorption, von 26 das Brechungsvermögen und die Krümmung bestimmt; 5 Saccharimeter-Quarzplatten wurden auf ihre Güte untersucht.

### B. Arbeiten der Abteilung II (Elektrizität und Magnetismus).

#### 1. Untersuchung von Permutit.

Die Versuche an Permutit ergaben, daß das Kristallwasser die Beweglichkeit der Kationen des Permutits nur wenig, die Basengleichgewichte nicht merklich beeinflußt. Ferner wurde die Abhängigkeit der letzteren von der Konzentration der umgebenden Lösung und die Selbstkomplexbildung in wässrigen Kupfersalzlösungen untersucht.

#### 2. Elektrolytische Ventilwirkung.

Die elektrostatische Kapazität der bei der Formierung des Tantals sich bildenden äußerst dünnen wirksamen Schicht wurde bis herab zur Spannung 0 und weiter bis zur negativen Spannung  $-2$  Volt gemessen. Bei einem Versuch, auf Aluminium durch Formierung bis zu besonders hoher Spannung gut schützende Deckschichten zu erzeugen, wurde eine abnorm große Gasentwicklung am Aluminium beobachtet. Die Bildung von mehr Gas, als elektrochemisch zu erwarten war, wurde durch Variation der Versuchsbedingungen weiter studiert; eine plausible Erklärung dafür wurde gefunden.

Wenn die Ventilwirkung darauf beruht, daß das Ventilmetall als Kathode die Elektronen schon bei einer viel geringeren Spannung abgibt, als in der entgegengesetzten Richtung, weil der Elektrolyt keine freien Elektronen enthält, so muß die Ventilwirkung selbst bei den höchsten Frequenzen



noch vorhanden sein. Der Nachweis wird durch die große elektrostatische Kapazität der elektrolytischen Ventile und die Mindestspannung in der durchlässigen Richtung immer mehr erschwert und schließlich unmöglich gemacht. Nun zeigt aber Aluminium in geschmolzenem  $\text{KNO}_3$  bei guter Ventilwirkung nur  $\frac{1}{10}$  der Kapazität und  $\frac{1}{2}$  der Mindestspannung wässriger Lösungen; außerdem kann man mit größeren Stromdichten arbeiten. Versuche ergaben noch bei der Frequenz  $0,3 \cdot 10^6$  eine gut ausgeprägte Ventilwirkung.

### 3. Metallkristalle.

Bleikristalle wurden aus wässrigen Lösungen von Bleisalzen bei hoher gleichmäßiger Stromdichte elektrolytisch gewonnen. Das Blei scheidet sich in drei Kristallrichtungen verschieden schnell ab. In gesättigter Bleinitratlösung war die maximale Bleiabscheidungsgeschwindigkeit in der günstigsten Richtung 2,1 mm/s. Die Rechnung ergibt, daß dabei ein elektrolytisch leitendes zweiwertiges Blei-Ion in  $1,5 \cdot 10^{-7}$  Sekunden in ein metallisch leitendes festes Bleiatom verwandelt wird. Die Stromdichte in der Achse der mit dieser Geschwindigkeit wachsenden Kristalle beträgt 224 000 A/dm<sup>2</sup>.

### 4. Dielektrische Festigkeit.

Auf Wunsch und mit Mitteln des Zentralverbandes der Deutschen elektrotechnischen Industrie sind Versuche über die Abhängigkeit der dielektrischen Festigkeit von Nichtleitern von ihrer chemischen und physikalischen Beschaffenheit in Angriff genommen worden.

### 5. Schallgeschwindigkeit in Gasen.

Die Versuche nach der Thiesenschen Methode wurden fortgesetzt. Die Versuchsanordnung wurde zunächst mit trockener, kohlenstofffreier Luft und mit Wasserstoff bei 0° und 760 mm Hg erprobt. Als Schallgeschwindigkeiten erhielten die Beobachter 331,57 und 1260,6 m/s, als Verhältnis  $c_p/c_v$  der spezifischen Wärmen 1,403<sub>4</sub> und 1,408. Mit einem ganz aus Glas geblasenen Schallrohr, das mit 0,01 bis 0,02 mm dicken Glimmermembranen abgeschlossen wurde, gelang es, die Schallgeschwindigkeit von Stickstofftetroxyd ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ) bei 760 mm Hg für Schwingungszahlen zwischen 275 und 6000 zu messen. Sie war in diesem Bereich völlig konstant, nämlich 183,9 m/s bei 25° und 193,8 m/s bei 35°. Diese Werte entsprechen auf etwa 1 % genau einer Formel von Einstein, die unter der Voraussetzung aufgestellt ist, daß das Dissoziationsgleichgewicht den Verdichtungen und Verdünnungen des Schalles vollkommen folgt, was also bis zu Schwingungszahlen von 6000 offenbar noch der Fall ist.

### 6. Normalelemente.

Die elektromotorischen Kräfte des Elementenstammes der Reichsanstalt sind nun mit Hilfe des Silbervoltameters nachgeprüft worden. Die mittlere Spannung des Stammes hat sich seit 1910 um wenige Hunderttausendstel geändert.

Das Zustandsdiagramm der 8 bis 15 % Kadmium enthaltenden Amalgame für Normalelemente wurde nachgeprüft. Das Diagramm von Bijl bedarf hiernach einer Abänderung.

### 7. Untersuchung verschiedener Gemische von Quecksilberisotopen.

Die Reproduktion der Quecksilberwiderstandseinheit (Ohmrohre) hängt von der Dichte und der Leitfähigkeit des Quecksilbers ab. Nun ist es Brönsted und v. Hevesy gelungen, Quecksilbergemische herzustellen, deren Dichte sich bis etwa 0,5 ‰ unterscheidet. Herr v. Hevesy hat der Reichsanstalt zwei Proben (etwa je 1 ccm) zur Verfügung gestellt, deren Dichte um 0,3 ‰ verschieden war. Die Leitfähigkeit dieser Gemische war auf wenige Milliontel genau die gleiche wie die von normalem Quecksilber. Ob etwa Quecksilber verschiedener Dichte im Handel ist, soll noch untersucht werden.

Unterschiede im Schmelzpunkt hoffte man durch Leitfähigkeitsmessungen zu finden. Es konnte jedoch beim Schmelzpunkt des Quecksilbers überhaupt keine sprunghafte Änderung des Leitvermögens festgestellt werden, was von anderer Seite auch bei Zink und Zinn schon beobachtet sein soll.

### 8. Kapazitätsnormale.

Die Normalluftkondensatoren größerer Kapazität der Anstalt wurden neuerdings in zwei parallel schaltbaren Gruppen zu je 0,1  $\mu\text{F}$  ( $0,01 + 0,01 + 0,03 + 0,05 \mu\text{F}$ ) auf einem kleinen Wagen montiert; die Schaltvorrichtung enthält nur wenige und kleine Quarzisolatoren, so daß ihre Kapazität verlustfrei ist. Die fortlaufende Kontrolle aller Kondensatoren ist durch die neue Einrichtung sehr erleichtert.

### 9. Wellenlänge elektrischer Schwingungen.

Um die neue Wellenlängenskala mit der angestrebten Genauigkeit festlegen zu können, mußte neuerdings auch die Eigenkapazität der Selbstinduktionsspulen des Normalwellenmessers durch eine diese umschließende leitende Hülle eindeutig definiert werden. In der neuen Anordnung ist der Schwingungskreis durch äußere elektrische Felder völlig unbeeinflussbar. Die Erregung erfolgt durch rein magnetische Koppelung mit dem Sender. Für sehr lange Wellen erwies sich die Brückenresonanzmethode von Grüneisen und Giebe zur Einstellung des Schwingungskreises auf Resonanz mit der Senderwelle als zehnmal genauer als die übliche Methode mit lose gekoppeltem aperiodischen Detektorkreis. Als Nullinstrument konnten Kristalldetektor und Spiegelgalvanometer verwendet werden. Aus den bisherigen Messungen im Frequenzbereich 2500 bis 15 000 (entsprechend Wellenlängen zwischen 120 und 20 km) läßt sich schließen, daß lange Wellen auf  $\frac{1}{10000}$  absolut gemessen werden können.

### 10. Verlustmessungen an Normalkondensatoren.

Eine große Anzahl von Prüfungsanträgen gab Veranlassung, mit der Brückenmethode von *Schering* den Verlustwinkel der viel benutzten, käuflichen Stöpsel- und Kurbel-Glimmerkondensatoren zu messen. Hiernach liegen die Verluste oft vorwiegend nicht im Glimmer, sondern in den Hartgummi-Isolationen der Kontakte. Bei technischen Luft-Drehkondensatoren war der Verlustwinkel bei der Frequenz 800 von der gleichen Größenordnung wie bei Glimmerkondensatoren (1' bis 2'); die Verluste entstehen in den zum Aufbau verwendeten festen Dielektriken. Unabgeschützte Drehkondensatoren sind als Normalkondensatoren nur mit besonderer Vorsicht zu gebrauchen.

### 11. Hochfrequenzuntersuchungen mit der Braunschen Röhre.

Die Untersuchungen über Kurvenform und Phase der Schwingungen in fremderregten Röhrendern haben die theoretischen Vorstellungen im allgemeinen bestätigt.

### 12. Leistungsmessungen.

Für die Messung des kleinen Eigenverbrauches der Spannungsspule und der Stromspule von Induktionszählern wurde eine Brückenmethode mit Vibrationsgalvanometer ausgebildet.

Um die Leistung in einem Vierleiterdrehstromnetz zu messen, brauchte man bisher drei Wattmeter; die Prüfung eines Zählers in einem solchen Netz bei schwankender Last, z. B. in einem Gehöft während des Dreschens, wird durch das Ablesen von drei hin und her zuckenden Zeigern sehr mühsam. Es wurde daher ein Meßverfahren mit einem Drehstromwattmeter in Verbindung mit drei Stromwandlern ausgebildet, wobei nur ein einziger Zeiger zu beobachten ist. Die Schaltung ist der von *Aron* angegebenen und bei den BDU-Zählern der *Bergmann-Elektrizitätswerke A.-G.* angewendeten nachgeahmt, die zur Voraussetzung hat, daß die Summe der drei Sternspannungen 0 ist. Die gegenseitige Beeinflussung der beiden Systeme läßt sich kompensieren, eine Korrektur für den Fall, daß die oben genannte Voraussetzung nicht erfüllt ist, mit dem gleichen Wattmeter experimentell ermitteln.

### 13. Der magnetische Spannungsmesser in Kompensationsschaltung.

Der von *Rogowski* und *Steinhaus* angegebene magnetische Spannungsmesser hat den Nachteil, daß die auftretenden sehr kleinen elektrischen Spannungen sich schwer direkt messen lassen. Die von *Schering* und *Engelhardt* gewählte Schaltung zur Messung gegenseitiger Induktivitäten (Kompensationsschaltung mit Vibrationsgalvanometer) wurde daher auf die Messungen mit dem magnetischen Spannungsmesser übertragen. Auf diese Weise konnten Bruchteile einer zehntel Amperewindung bestimmt werden. Das Verfahren

wurde z. B. zur Messung des Magnetisierungsstroms von Stromwandlern angewendet.

### 14. Bestimmung der Phasenfolge in Drehstromsystemen.

Schaltet man einen Kondensator und zwei gleiche Glühlampen in Stern an ein Drehstromnetz, so erhält man den größten Helligkeitsunterschied der Lampen, wenn der Scheinwiderstand des Kondensators gleich dem Widerstandswert der parallel geschalteten Lampen ist. Dies führt bei gewöhnlichen Metallfadenlampen (110 V) zu Kapazitäten von etwa 10  $\mu\text{F}$ , deren Verwendung hierfür ausgeschlossen ist. Es gelang dagegen mit kleinen Signallämpchen, wie sie in der Telephonie benutzt werden, unter Vorschaltung von Silitwiderständen von mehreren tausend Ohm, für Spannungen bis 400 V einen kleinen handlichen Apparat zu konstruieren, als dessen Kapazität ein kleiner Papierkondensator ( $2 \times 3 \times 5$  cm) von 1  $\mu\text{F}$  genügt. Je nach der Phasenfolge leuchtet die eine oder die andere Lampe auf.

### 15. Schutzterdung bei der dielektrischen Verlustmessung von Hochspannungskabeln.

Die in der Reichsanstalt ausgebildete Scheeringsche Methode der Messung dielektrischer Verluste gestattet, Kabelstücke von wenigen Metern Länge zu untersuchen. Um den Einfluß der Enden, wo eine ungünstige Feldverteilung herrscht, auszuschalten, wurde eine Schutzringterdung angewandt, welche die Ströme an den Enden von der Messung ausschließt. Ein Einleiterkabel für 50 kV Drehspannung und ein Dreileiterkabel für 25 kV Drehspannung wurden hiermit systematisch untersucht.

### 16. Optische Methode zur Messung der Dicke der Ölschicht von Lagern und der Verlagerung rotierender Wellen.

Während die in der Reichsanstalt ausgebildete Rastermethode nur an Endlagern und nur im stationären Zustand verwendbar ist, gestattet ein neu gefundenes Verfahren bei jedem beliebigen Lager sowohl die Stellung der Welle im stationären Zustand zu messen, als auch die einzelnen Phasen der Verlagerung beim An- und Auslauf photographisch festzuhalten und noch Vorgänge zu unterscheiden, die sich in  $\frac{1}{100}$  Sekunde abspielen. Die Methode beruht auf der Beobachtung von Beugungstreifen, die durch tangential die Welle berührende Strahlen erzeugt und durch ein Mikroskop mit Okularschrauben ausgemessen werden. Die Methode scheint nicht nur für das Prüffeld, sondern auch für den Betrieb geeignet. Die Verlagerung der Wellen ist auf 1  $\mu$  genau meßbar.

### 17. Kippmoment von Synchronmaschinen.

Nach dem früher angegebenen Prinzip der optischen Ablesevorrichtung für Torsionsdynamometer wurde zunächst eine Methode zur Messung der Phasenverschiebung zwischen der elektro-



motorischen Kraft und der Klemmenspannung von Synchronmaschinen ausgearbeitet. An einer dreiphasigen Synchronmaschine mit ausgeprägten Polen wurde dann das Drehmoment als Funktion dieser Verschiebung gemessen. Die Maximalamplitude der hierbei ermittelten sinusähnlichen Kurve stellt das Kippmoment dar. Bei weiterer Vergrößerung des Drehmoments fällt die Maschine außer Tritt. Die Versuche ergaben befriedigende Übereinstimmung mit der Theorie von *Arnold-Lacour*.

#### 18. Verbesserung der magnetischen Meßeinrichtungen.

Die Einrichtung zur Verlustmessung mit Wechselstrom ist derart verbessert worden, daß bei den vorkommenden Induktionen (bis  $B = 16\,000$ ) die Meßgenauigkeit auch für die besten hochlegierten Transformatorenbleche ausreicht.

#### 19. Einfluß der chemischen Zusammensetzung und thermischen Behandlung auf die Magnetisierbarkeit von Eisenlegierungen.

Auf Wunsch der Reichsanstalt hat die Firma *Heraeus* in Hanau versucht, einige Legierungen aus reinstem Elektrolyteisen mit reinstem Si und Al im Vakuum zusammenzuschmelzen. Eine dieser Legierungen mit etwa 2,5 % Si ist untersucht worden und hat eine Koerzitivkraft von nur 0,095 Gauß und eine Remanenz von etwa 3000 CGS-Einheiten ergeben. Das Material ist daher wohl das beste bisher bekannte.

Die Versuche zur Herstellung eines verbesserten Magnetstahls sind mit Hilfe der Firma *Krupp* gefördert worden; zuletzt wurde ein Material erzielt, das bei gleich hoher Remanenz die dreifache Koerzitivkraft besitzt wie die besten W- und Cr-Stähle (210 gegen 70 Gauß) und somit für kurze gedrungene Stab- und Hufeisenmagnete besonders geeignet scheint.

#### 20. Prüftätigkeit der Abteilung II.

Das Laboratorium für Grundeinheiten hat 281 Widerstände und Normalelemente geprüft, außerdem 35 für die elektrischen Prüfmäßer, 18 für die Reichsanstalt. Auf Wunsch der Aluminium-Kommission des Verbandes deutscher Elektrotechniker wurde außerdem von 42 Proben Aluminiumdraht verschiedener Herkunft in hartem und weichgeglühtem Zustand die elektrische Leitfähigkeit und ihr Temperaturkoeffizient gemessen.

Das Laboratorium für Wechselstromnormalien und Hochfrequenz erledigte die Prüfung von 248 Induktivitäten, Kapazitäten, Wellenmessern usw. (sowie 37 für die Anstalt selbst).

Im Gleichstromlaboratorium wurden 204 Prüfungen von Meßgeräten, Widerständen, Primärelementen und 14 Systemprüfungen von Gleich- und Wechselstromzählern ausgeführt (ferner 54 Prüfungen für die Anstalt).

Das Wechselstromlaboratorium prüfte 400

Meßgeräte, 16 Wechselstromgrößen, 200 Isolations- und Installationsmaterialien, 25 technische Apparate und 3 Meßwandlersysteme. 41 Hochspannungszähler-Aggregate wurden im Betrieb an Ort und Stelle untersucht.

Das Maschinenlaboratorium hatte 48 Maschinen, das magnetische Laboratorium 227 Eisen- und Dynamoblechsorten zu prüfen.

Die der Oberaufsicht der Reichsanstalt unterstellten sieben Prüfmäßer haben im Berichtsjahre 31 271 Zähler, 4471 andere Meßgeräte, 272 elektrische Gebrauchsgegenstände, Isolations- und Installationsmaterialien geprüft.

An den Arbeiten der Prüfstelle und der Unterausschüsse des Verbandes deutscher Elektrotechniker hat die Abteilung regen Anteil genommen.

### C. Arbeiten der Abteilung III (Wärme u. Druck).

#### 1. Zustandsgleichung der Gase.

Die Isothermen des Heliums bei 0°, 50° und 100° wurden bis 100 at zu Ende gemessen. Sie verlaufen im Beobachtungsbereich geradlinig. Die Messung der Isothermen des Stickstoffs wurde begonnen.

#### 2. Gasthermometrische Messungen zwischen —193 und —258°.

Die Messungen mit dem Heliumthermometer bei tiefen Temperaturen haben folgendes ergeben: a) Bei —193° zeigt ein Heliumthermometer konstanter Dichte vom Eispunktsdruck  $p_0 = 0,76$  mm Hg um  $0,04 \pm 0,02$  höher als ein gleichartiges Wasserstoffthermometer. b) In der Nähe des Kondensationspunktes sind die Abweichungen des Stickstoff- und Argonthermometers von der thermodynamischen Skala zweibis dreimal geringer als nach der Zustandsgleichung von *Clausius-Berthelot*. c) Wasserstoff siedet unter normalem Druck bei —252,80°. d) Eine Formel für Platinwiderstandsthermometer in den der Messung zugänglichen Bereichen von —192° bis —210° und von —253° bis —257° konnte aufgestellt werden.

#### 3. Sättigungsdruck des Sauerstoffs.

Der Sättigungsdruck von Sauerstoff wurde zwischen —182° und —195° bestimmt; er nimmt in diesem Bereich von 846,0 auf 177,0 mm Hg ab. Der normale Siedepunkt des Sauerstoffs liegt hiernach bei —183,03°. Die Beobachtungen werden unterhalb —195° fortgesetzt.

#### 4. Vergleich der Temperaturskala der Reichsanstalt mit der thermodynamischen Skala zwischen 0 und 100°.

Der Vergleich von drei Platinwiderstandsthermometern mit einem Heliumthermometer ergab, daß die nach den Vorschriften der Reichsanstalt geeichten Widerstandsthermometer aus reinem Platin zwischen 0 und 100° um weniger als 0,01° von der thermodynamischen Skala abweichen.

### 5. Gesetzliche Festsetzung der Temperaturskala und der Wärmeeinheit.

Der deutsche Verband technisch-wissenschaftlicher Vereine und der Normenausschuß der deutschen Industrie haben angeregt, die thermischen Maßeinheiten gesetzlich festzulegen. Auf die Aufforderung des Reichsministeriums des Innern wurde ein Gesetzentwurf ausgearbeitet, in dem als gesetzliche Temperaturskala die thermodynamische festgesetzt wird, und zwar in derjenigen Verwirklichung, welche die Reichsanstalt der Eichung der Thermometer zugrunde legt. Als gesetzliche Einheiten der Wärmemenge wurden die Kilokalorie (15°-Kilokalorie) und die Kilowattstunde gewählt; die letztere ist 860 Kilokalorien gleich zu erachten.

### 6. Zahlenwert der Gaskonstanten.

Unter Berücksichtigung grundlegender Messungen der Reichsanstalt wurden die folgenden Werte der Gaskonstante neu berechnet, die als Richtwerte empfohlen werden:

$$R = 0,08204 \pm 0,00003 \text{ Liter-Atmosphären/Grad. ol}$$

$$R = (8,313 \pm 0,003) \cdot 10^7 \text{ Erg./Grad. Mol.}$$

$$R = 1,986 \pm 0,001 \text{ cal}_{15}/\text{Grad. Mol.}$$

### 7. Normalwerte für die Verbrennungswärme.

Eine an die Reichsanstalt gerichtete Anfrage führte zu einer kritischen Bearbeitung des vorliegenden Beobachtungsmaterials für die Verbrennungswärme von Stoffen, die zur Eichung von Verbrennungskalorimetern dienen. Hiernach ist die Verbrennungswärme von

$$\text{Benzoesäure } 6320 \text{ cal}_{15}/\text{g} = 26\,444 \text{ Joule/g.}$$

$$\text{Naphthalin } 9617 \text{ „ } = 40\,239 \text{ „}$$

$$\text{Rohrzucker } 3949 \text{ „ } = 16\,523 \text{ „}$$

### 8. Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstands reiner Metalle.

Zwischen 0 und 100° wurde der Widerstandskoeffizient von sehr reinem Nickel und Kobalt (pulverförmig von der Firma Kahlbaum geliefert und im Vakuum geschmolzen) gemessen; er beträgt 0,0067 und mehr und übertrifft somit den aller anderen Metalle außer von sehr reinem Eisen. Aluminium mit 0,1 % Verunreinigung ergab den Koeffizienten 0,0044, der nicht größer war als der Koeffizient des Ausgangsmaterials von 0,4 % Verunreinigung.

### 9. Diffuses Reflexionsvermögen.

Früher war nach einer Rohrmethode als diffuses Reflexionsvermögen von Magnesia  $R = 0,955$  gefunden worden, wobei angenommen war, daß die Reflexion ideal diffus erfolge. Weitere Versuche, bei denen mittels einer Linse das Bild eines glühenden Wolframstreifens auf einem Magnesiumschirm entworfen und die Helligkeit des Bildes mit dem Mikropyrometer abhängig vom Ausfallswinkel  $\vartheta$  gemessen wurde, haben ergeben, daß das Reflexionsvermögen bis  $\vartheta = 15^\circ$  nur um 1 % abnimmt, bei  $\vartheta = 90^\circ$  aber

bei rotem Licht nur 58 %, bei grünem nur 62 % des Reflexionsvermögens für  $\vartheta = 0^\circ$  beträgt. Der Absolutwert des Reflexionsvermögens wurde nach einer besonderen photometrischen Methode gemessen. Es ergab sich schließlich als Mittelwert  $R = 0,942$  für rotes,  $R = 0,969$  für grünes Licht in guter Übereinstimmung mit dem nach der Rohrmethode gefundenen Wert.

### 10. Druckabfall von Gasen und Flüssigkeiten beim Strömen durch Rohre.

In der Veröffentlichung über die Druckabfallversuche wird vorgeschlagen, Meßgeräte für große Gasströme, z. B. Düsen, statt mit großen Gasbehältern, die Schwierigkeiten bieten, mit entsprechend weiten Rohren zu eichen. Mit einem Messingrohr von 10 cm lichter Weite und 7 m Länge, wovon 5 m als Beruhigungsstrecke am Einlauf, 1 m als Meßstrecke dienen würden, könnte z. B., wenn man 40 cm Wassersäule als Druckabfall pro m Rohrlänge zuließe, eine Luftmenge von etwa 7800 cbm/h ermittelt werden. Die Konstanten der Druckabfallgleichung könnten an einem solchen Rohr mit einem Wasserstrom von etwa 30 kg/s nochmals bestimmt werden. Mit den in der Reichsanstalt ermittelten Werten dieser Konstanten dürften aber schon genauere Messungen großer Gasmengen möglich sein als nach irgendeinem anderen der üblichen Verfahren.

### 11. Wärmeleitvermögen von Flüssigkeiten und festen Stoffen.

Nach der an Wasser zuerst erprobten Methode wurde das Wärmeleitvermögen von Toluol gemessen und bei 19,6° zu  $0,000\,443 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Grad}^{-1}$  gefunden, also wesentlich höher, als man bisher annahm. Die Messungen werden bei der Temperatur — 80° fortgesetzt.

Mit dem gleichen Apparat kann das Wärmeleitvermögen dünner kreisförmiger Platten von 117 mm Durchmesser aus schlecht leitenden Stoffen bestimmt werden.

Der Apparat wurde ferner zur Messung an Metallkörpern (Zylinder von 150 mm Länge und 117 mm Durchmesser) benutzt. Untersucht wurden damit bisher 6 Aluminiumlegierungen, darunter die neue Leichtlegierung Silumin, 99prozentiges Aluminium und 30prozentiger Krupp-scher Nickelstahl. Bei sämtlichen Proben war zwischen 30 und 70° der Temperaturkoeffizient des Wärmeleitvermögens positiv.

### 12. Spezifische Wärme der Gase bei hohen Drucken.

Zur Bestimmung der spezifischen Wärme der Kohlensäure wurde ein neues Kalorimeter gebaut, bestehend aus einem 2 m langen, innen und außen elektrisch geheizten Rohr aus 30-prozentigem Nickelstahl, dessen Bezug die Firma Krupp der Reichsanstalt ermöglichte. Durch die zylindrische Anordnung sollen die Wärmeverluste



leichter berechenbar, durch die Verwendung des schlecht leitenden Nickelstahls sollen sie herabgesetzt werden. Die das Kalorimeter durchströmende Kohlensäuremenge soll aus dem Druckabfall in einem Messingrohr (s. Abschn. 10) gemessen werden. Ein Teil der Rohrleitungen wurde von der AEG-Turbinenfabrik und von der Gesellschaft für Lindes Eismaschinen zur Verfügung gestellt.

### 13. Prüfungszwang für Fieberthermometer.

Das Gesetz über die Prüfung und Beglaubigung der Fieberthermometer ist in Kraft getreten. Seine Durchführung liegt der Reichsanstalt ob, die hierfür eine besondere Prüfungsstelle eingerichtet hat. Weitere Prüfungsstellen unter der technischen Aufsicht der Reichsanstalt sind das Staatsprüfamt für Glasgeräte in Ilmenau, die Staatsprüfungsanstalt für Glasgeräte in Gehlberg und das anhaltische Staatsprüfamt für Fieberthermometer in Zerbst. Diese sind durch Gesetz verpflichtet, 10 % ihrer Eingänge der Reichsanstalt zur Erledigung zu übergeben.

### 14. Prüftätigkeit der Abteilung III.

Es wurden untersucht 6658 nichtärztliche Ausdehnungsthermometer, darunter 97 Tiefseethermometer, die auf Druck bis 600 at zu prüfen waren, 3057 hochgradige Thermometer, zum Teil bis zu Temperaturen von 750°, und 72 tiefgradige Thermometer, wovon 35 bis zu Temperaturen von -190°. Die Prüfstelle für Fieberthermometer erledigte 141 839 Fieberthermometer; sie war am Ende des Jahres bereits imstande, 2000 Thermometer pro Tag zu prüfen. Die anderen im Abschnitt 13 genannten Prüfstellen erledigten 2 354 331 Fieberthermometer und 3005 nichtärztliche Thermometer.

Ferner wurden im Berichtsjahr 316 elektrische und optische Thermometer, 47 Druckmeßgeräte, 647 Apparate zur Erdöluntersuchung und 573 andere Gegenstände geprüft.

## D. Arbeiten des chemischen und des präzisionsmechanischen Laboratoriums.

### 1. Glasuntersuchungen.

Die Eosinprobe wurde neuerdings auch an rauh geschliffenen Stellen vorgenommen; dabei sind die kolorimetrischen Effekte wenigstens sechsmal so groß als an glatten Bruchflächen. Eine rauh geschliffene Stelle von 2 qcm genügt zur Ausführung der Adsorptionsreaktion.

Das alkalimetrische Prinzip der Prüfung hat sich zur Beurteilung der chemischen Eigenschaften technischer Glasgeräte als sehr brauchbar erwiesen; besonders bei Arten von mittlerer Angreifbarkeit. Soweit die in wässrige Lösungen gehenden sauren Glasbestandteile nicht vernachlässigbar sind, bedarf es einer Ergänzung durch gravimetrische Bestimmungen, für die einige Meßbeispiele mitgeteilt sind.

Für die Technik wurden 28 Glasarten geprüft.

### 2. Aluminium.

Die Frage, inwieweit die thermische Salzsäureprobe ein Maß abgibt für die allgemeine chemische Angreifbarkeit von technischem Aluminium, wurde gründlich studiert. Dem Reaktionsrohr wurde stets die gleiche Form und Größe gegeben; die Oberfläche der Aluminiumprobe soll stets 2000 qmm betragen.

Die oxydhaltige „Deckschicht“ ist vor dem Versuch abzubeizen und der „Metallkern“ dann unmittelbar dem Angriff der Säure aussetzen. Die Versuche ergaben folgendes:

a) Die verschiedenen Aluminiumsorten können durch eine besondere Reaktionszahl, nämlich durch die mittlere Temperaturzunahme pro Minute  $R = \frac{t - 20}{m}$  charakterisiert werden. Dabei bedeutet 20 die Anfangs-,  $t$  die Höchsttemperatur,  $m$  die Minutenzahl. Für technisches Reinaluminium war  $R = 4$  bis 10, bei dem eisenfreien Al V nur 0,03.

b) Die Strukturveränderung durch Rekristallisation bei starkem Erhitzen beschleunigt die Reaktion, die „Deckschicht“ verzögert sie.

c) Die ursprüngliche Deckschicht läßt sich wesentlich verstärken; es gelang auch bei technischem Aluminium,  $R$  durch Formieren mit Gleichstrom bis auf 0,20 herabzudrücken.

### 3. Untersuchung volumenbeständiger Stähle.

Auf Antrag einer großen oberschlesischen Hütte ist mit Versuchen an 13 Stahlsorten begonnen worden, die ungehärtet und gehärtet auf Volumen, Dichte und Wärmeausdehnung, auf zeitliche Längenänderungen nach der Härtung und auf den Einfluß der üblichen künstlichen Alterung untersucht werden.

### 4. Neue Feinmeßgeräte.

Zur Prüfung des Verjüngungsverhältnisses von Morsekonen wurde ein besonderer Apparat hergestellt. Die Messungen zeigten, daß die für die Morsekonen bisher angenommenen Genauigkeitsgrenzen nicht erreichbar sind. Zur Messung des Flankendurchmessers von Gewinden wurden zwei Versuchsgeräte gebaut. Gewinde bis 40 mm Durchmesser können hiermit auf  $\pm 0,002$  mm gemessen werden; an verschiedenen Stellen eines und desselben Normalgewindes sind jedoch Abweichungen von  $\pm 0,01$  mm die Regel. Ein Apparat für Gewinde bis 200 mm Durchmesser ist nahezu vollendet.

### 5. Prüftätigkeit des präzisionsmechanischen Laboratoriums.

Im Berichtsjahr wurden 1176 Gegenstände geprüft, darunter 744 Endmaße, 81 Leitspindeln, 77 Normalgewinde, 98 Stimmgabeln, 107 Blutmischpipetten. Für die Prüfung von Hämatometern (Blutkörperchen-Zählapparate) und den zugehörigen Mischpipetten hat sich die Reichsanstalt auf Antrag einer Anzahl großer deutscher Mikroskopfirmen eigens eingerichtet.

Der Jahresbedarf an geprüften Instrumenten war zu 2000 bis 3000 Stück angegeben worden.

Ferner wurde die Wärmeausdehnung von 10 Materialproben gemessen und eine Anzahl kleinerer Einzelprüfungen vorgenommen.

### E. Veröffentlichungen der Reichsanstalt.

Ein Anhang zum Tätigkeitsbericht enthält ein Verzeichnis von 111 durch die wissenschaftlichen Beamten der Reichsanstalt im Berichtsjahr veröffentlichten Untersuchungen.

Max Jakob, Berlin.

## Besprechungen.

**Goldschmidt, Richard, Ascaris. Eine Einführung in die Wissenschaft vom Leben für Jedermann.** Leipzig. Theod. Thomas, 1922. 296 S. und 163 Abbildungen. Preis geh. M. 66,—; geb. M. 78,—.

Es ist eine allgemeine Wahrheit, daß die Schönliteratur der beste Waffengefährte der Geisteswissenschaften ist. Sie trägt in ihrer leichteren Sprache die Errungenschaften der Philosophie, Theologie, Geschichte, wie auch die der Politik und Soziologie in die breite Öffentlichkeit hinein und sorgt dafür, daß die Gedanken streng wissenschaftlicher Geister zu einem lebendigen Bestandteil des alltäglichen Lebens werden. Die Naturwissenschaften haben diese innige und ungezwungene Beziehung zu der Schönliteratur bisher noch nicht gefunden. Wir haben zwar eine ausgedehnte und mannigfaltige Sammlung guter populär-naturwissenschaftlicher Werke, diese bedeuten aber aus literaturgeschichtlichem Gesichtspunkt betrachtet nicht viel mehr als die Chroniken des frühen Mittelalters für die Geisteswissenschaften. Sie geben mehr oder minder getreu in volkstümlicher Sprache die Tatsachen wieder, ohne den wahren Geist, die Tiefen der Probleme, die Ausblicke auf die Gesamtheit, das ständige Pulsieren und Fließen des naturwissenschaftlichen Lebens richtig wiedergeben zu können. Die heutige Generation, besonders die jetzt heranwachsende Jugend braucht aber Werke, die für ihre naturwissenschaftliche Kultur dieselbe Bedeutung haben sollten, wie die großen dichterischen Schöpfungen für ihre historische oder ästhetische Bildung haben. Das Tatsachenmaterial aller bisherigen guten populär-naturwissenschaftlichen Schriften — da sie nichts anderes als mehr unterhaltende Lehrbücher sind — bleibt lediglich am Gedächtnis haften und hat weder die Kraft noch den Schwung, die Seele zu durchdringen. — Solche Gedanken regt das Buch von Goldschmidt an, und nichts ist für diese „Biologie für Jedermann“ charakteristischer, als daß sie eben zu diesen Gedanken führt. Mit einer ganz eigenartigen Subjektivität wird das Gesamtbild der Biologie vor unseren Augen dargestellt; aus einem fein und artistisch gewobenen Gespinnst von Fragen und Antworten treten die Grundlagen unseres heutigen biologischen Wissens klar hervor. Doch nicht bloß das Tatsachenmaterial wird in einer überaus anziehenden Art geboten; was dieses Werk von allen ähnlichen früheren unterscheidet, was ihm eine besondere literaturgeschichtliche Prägung verleiht, ist eben der Umstand, daß es hier zum ersten Mal gelungen ist, hinter den Tatsachen auch das innerste Wesen des biologischen Forschens: die endlose Kette ineinandergreifender Fragen, die Beziehungen des einfachsten Naturobjektes zu den höchsten Problemen des menschlichen Denkens richtig und lebendig fühlen zu lassen.

Und das alles ohne Lobgesänge auf die Naturwissenschaften, auch ohne die Aufführung eines naturwissenschaftlichen Kabinetts!

Ein Wurm, die *Ascaris*, liegt vor uns auf dem Seziertisch; und hinter ihm, wie aus einem Laboratoriumsfenster, erblicken wir die bunten Bilder der lebendigen Natur auf den deutschen Wiesen, in den Gebirgen Japans, an den sonnigen Küsten des Mittelmeeres oder in den unheimlichen Tiefen der Ozeane. Dieses Buch ist das Werk eines Forschers, eines Denkers und eines Künstlers. Der Forscher gab die Erfahrungen, die ganze Fülle des wissenschaftlichen Materials (Form, Farbe, Anpassung, Leben und Zweckmäßigkeit. Haut, Atmung, Lymphe, Muskeln, Bewegung, Nerven und Sinnesorgane. Gehör und Gleichgewichtssinn, das zentrale Nervensystem. Erwerb der Nahrung, Verdauung, Stoffwechsel, Ausscheidung, Geschlecht, Fortpflanzung, Befruchtung, Kern, Chromosomen, Geschlechtsbestimmung, Mendelsche Gesetze und Vererbungslehre. Entwicklungsgeschichte). Der Denker füllte diesen Stoff mit dem Geist eines Gelehrten, den die Natur zur Geduld und nicht zur Ungeduld erzogen hat, der die überwältigende Größe des Naturgeschehens so innerlich empfindet, daß er sich scheut, sie als durchgemessen und erobert seinen Lesern hinstellen. Auch er hebt mit vollem Recht die Fortschritte der positiven naturwissenschaftlichen Forschungen hervor; doch manchmal klingt auch ganz leise der Ton einer leichten Ironie und eines milden Skeptizismus durch. Seine Stimme erinnert stellenweise an die eines Vaters, der seinen Kindern erzählt, stellenweise an die eines gewandten Causeur, der im Freundeskreise über seine Erlebnisse und Erfahrungen berichtet. Nichts ist in ihm von dem Parteiführer, der seiner Richtung Parteigänger anzuwerben strebt. Er hat seine Weltanschauung, er will sie aber niemandem aufzwingen. Der Künstler fand endlich den glücklichen Rahmen, in dem der wissenschaftliche Inhalt Natürlichkeit, Lebendigkeit und Einheit gewinnt. Er schuf den Stil, der in einer wunderbar einfachen, für jedermann verständlichen Sprache selbst die verwickeltesten biologischen Vorgänge und Definitionen leicht und doch präzise darzustellen verstand. Auch die Fachmänner des biologischen Unterrichts werden gewiß manche der glücklichen Ausdrücke, der geschickt angebrachten Beispiele und der recht gelungenen Originalabbildungen übernehmen können. Die richtige durchgreifende Wirkung wird das Buch aber ohne Zweifel bei denen erreichen, für die es geschrieben worden ist: bei der Jugend und in den Kreisen der biologisch interessierten Bürger und Arbeiter. Diese werden die Harmonie des Buches voll auf sich wirken lassen; und indem sie feste Grundlagen für ihr naturwissenschaftliches Denken gewinnen, werden sie wohl empfinden, daß sie neben Fachkenntnissen auch den höchsten Inhalt aller Wissenschaften: Wahrheit und Klarheit erhalten. Die gute Ausstattung, die reichlich beigelegten instruktiven Abbildungen werden sicherlich zu dem Erfolg auch ihren Teil beitragen.

Peterfi, Berlin-Dahlem.

**Ferdinand Bruns, Die Zeichenkunde im Dienst der beschreibenden Naturwissenschaften.** Jena, Gustav Fischer, 1922. VII, 100 S., 6 Abbild. und 44 Tafeln. Preis geh. M. 90,—; geb. M. 115,—.

Naturwissenschaftliche Beobachtung, Sammeln, Mikroskopieren, Beobachtung des Raumes mit dem Fernrohr ist, durch vortreffliche Anleitungen und Zeit-



schriften volkstümlich gemacht, eine mehr und mehr sich ausbreitende Beschäftigung in den freien Stunden des arbeitsamen Berufsmenschen geworden. Das Gesehene in künstlerischer Form festzuhalten, ist vielen Bedürfnis, doch ist die Fähigkeit, den Zeichenstift zu führen, nur wenigen durch Anlage und Begabung gegeben. Die eindringlichsten Lehrer der Naturwissenschaften haben schon immer das größte Gewicht darauf gelegt, ihre Schüler zum Zeichnen des Gesehenen, und sei es auch in der primitivsten Form, an zuhalten. Denn wie jeder Mensch schreiben lernt, so kann auch jeder Mensch lernen, das, was er sieht, in erkennbarer Form mit dem Zeichenstift darzustellen. Das Buch von *Bruns* hat ein Bedürfnis für alle die ausgefüllt, welche das Bestreben haben, ihre eigenen Beobachtungen im Bilde festzuhalten, und die aus sich selbst heraus nicht recht wissen, wie dies anzufangen sei. Das Zeichenbuch ist die schönste Erinnerung an gehabte Augenfreuden. Wie *Ruskin* in seinen Elementen des Zeichnens gar keine Voraussetzungen als Fleiß macht für den, der zeichnen lernen will, aber keine Anlage und keine Geschicklichkeit verlangt, so lehrt *Bruns* vom einfachsten, für einen jeden Ausführbaren ausgehend, das Zeichnen naturwissenschaftlicher Gegenstände. Das naturwissenschaftliche Zeichnen kann gelernt werden. *Bruns* sagt mit Recht, daß die Fehlerquellen in der Darstellung nicht in Unschärfe des Auges oder Ungeschicklichkeit der Hand, sondern in der mangelnden Fähigkeit liegen, von den Sinneseindrücken klare Vorstellungen zu bilden und sie miteinander zu vereinigen. Diese Fähigkeit zu lehren, bemüht sich in diesem vortrefflichen, Schritt für Schritt vorwärtsgelenden Werke ein naturwissenschaftlich und künstlerisch hochgebildeter Zeichner. Die mit einfachsten Mitteln dargebotenen, vom Verf. selbst gezeichneten Tafeln lehren, mehr noch als die wörtliche Ausführung, die Methoden der Schwarzweißdarstellung gesehener Flächen und Körper.

*Bruns* beginnt mit der Darstellung primitiver Zeichnungen. Diese Zeichnungen sind aus dem Gedächtnis, nicht nach dem Vorbild hergestellt, dasjenige, was den Zeichner am meisten bewegt, das Wild für den Jäger der Urzeit, das Renntier für den Lappen, die Bewegungen beim Spiel für den Eskimo, erscheinen am naturwahrsten. Diese uns so sehr natürlich erscheinenden Darstellungen gehen bei höherer Kultur in stilisierte Bilder über, welche in Andeutungen auch heute noch, namentlich in der Kartographie und vielen anderen graphischen Abbildungen zu finden sind. Diese Zeichnungen aus dem Gedächtnis finden im Modell nur eine Unterstützung für das Gedächtnis, im übrigen sind Lage und Raumverhältnisse konventionell. Die Zeichnung nach ebenen Gebilden ist bei der Darstellung naturwissenschaftlicher Gegenstände der Anfang und muß vom einfachsten ausgehen. Beschreibungen sind hierbei gefährlich, weil die Zeichnung sich hierbei zu sehr dem Schema, der typischen Form, anlehnen würde. Auch Kopieren fertiger Zeichnungen ist gefährlich, durch das Kopieren kann man so wenig zeichnen lernen, wie ein Analphabet durch Abmalen eines Schriftstückes schreiben lernt. In klarer Form lehrt *Bruns* die Darstellung ebener Gebilde, den Kontur, die Flächendeckung, die Auswahl wichtiger und Auslassung nebensächlicher Punkte. Dann geht er zu schwereren Dingen über, zum Projizieren, zur Auffassung sich überschneidender, gedrehter und gewundener Achsengebilde, zur Perspektive, der Spiegelung und zu all den kleinen und größeren Hilfsmitteln, welche für die Darstellung von Wichtigkeit sind. Er bespricht die

Reproduktionsverfahren und die Technik, die für sie so verschieden ist, die Schwarzweißzeichnung, die Schattierung, das Silhouettenzeichnen, das mikroskopische Zeichnen, die Anordnung mehrerer Gegenstände auf einem Blatt unter Berücksichtigung ästhetischer Gesichtspunkte, wobei sogar die Beschriftung in künstlerischer Form nicht aus den Augen gelassen wird. Wer sich im Zeichnen versucht, wird hier von leichten bis zu den schwierigsten Aufgaben schrittweise fortgeführt, und auch schon der recht kundige Autodidakt wird in diesem Werk die wertvollsten Hilfen kennen lernen und namentlich vieles erleichtert finden, was ihm Mühe bereitete oder noch nicht gelang, weil er nicht wußte, wie er der technischen Schwierigkeit Meister werden sollte. Eine Reihe von Tafeln aus alten und neueren naturwissenschaftlichen Bilderwerken der berühmtesten Autoren, *Leeuwenhoek*, *Swammerdam*, *Malpighi*, *Haeckel*, um nur die bekanntesten zu nennen, und vielen anderen, zeigt, wie die vom Verf. dargelegten Methoden schon seit Jahrhunderten angewandt worden sind. Das Buch wird vielen Freude machen und einen Leitfaden für die eigenen Kunstübungen darstellen.

F. Pinkus, Berlin.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

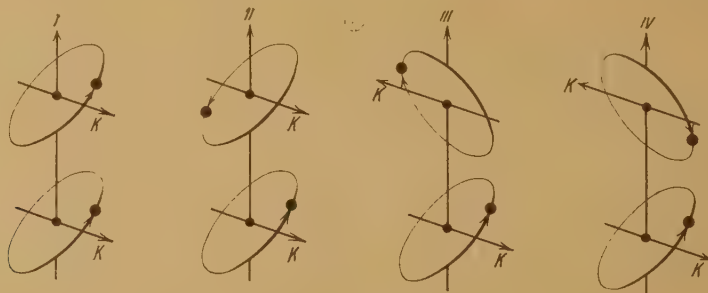
### Über das Modell der Wasserstoffmolekel.

Im 23. Heft des laufenden Jahrganges dieser Zeitschrift hat Herr A. Eucken das Problem der Wasserstoffmolekel wieder aufgenommen, das seit dem deutlichen Versagen des sogenannten Bohr-Debyeschen Modells gegenüber der Dissoziationswärme nur wenig diskutiert worden ist; er schlägt ein neues Modell vor, bei dem die Elektronen zwischen den Kernen nahezu geradlinig pendeln und nur darum mit den Kernen nicht zusammenstoßen, weil diese um ihren Schwerpunkt rotieren. Dieser Ausweg aus den Schwierigkeiten ist sehr geistreich und scheint vielversprechend; auch lassen sich, wie Herr Eucken ausführt, Gründe dafür angeben, daß die Molekel stets, auch beim absoluten Nullpunkt, rotiert.

Ich bin aber der Meinung, daß sich dieser Vorschlag nicht aufrecht erhalten läßt, weil er den Prinzipien der Quantentheorie widerspricht; diese sind inzwischen von Bohr und anderen in so vielen Fällen erfolgreich angewandt worden, daß man nicht ohne die zwingendsten Gründe davon abgehen wird. Die Zeit, wo es der Phantasie des Forschers freistand, Atom- und Molekelmodelle nach Willkür zu ersinnen, ist wohl vorüber; man ist vielmehr jetzt in der Lage, durch Anwendung der Quantenregeln mit einer gewissen, wenn auch noch keineswegs vollständigen Sicherheit die Modelle zu konstruieren. Für den Aufbau der Wasserstoffmolekel kommt in erster Linie das Adiabatenprinzip in Betracht. Man denke sich zwei in irgendwelcher Orientierung im Raume befindliche normale, einquantige Wasserstoffatome; sodann stelle man sich vor, daß die Kerne langsam einander genähert werden, bis eine merkliche Wechselwirkung der beiden Atome eintritt. In diesem Augenblick liegt ein locker gekoppeltes System vor, und es macht keine Schwierigkeiten, die Wechselwirkung mit den Methoden der Störungstheorie zu berechnen. Sehr bequem ist hierzu ein Näherungsverfahren der Himmelsmechanik, das Herr W. Pauli jun. und ich für die Zwecke der Quantentheorie eingerichtet haben (Z. f. Phys. 10, S. 137, 1922). Man muß nun vor allem beachten, daß das System der beiden

H-Atome *ausgeartet* ist; die Winkelgeschwindigkeiten der beiden Elektronen um ihre Kerne sind ja einander gleich. Man darf daher nicht mehr die Wirkungsintegrale der einzelnen Atome  $J_1$  und  $J_2$ , die zu den Umlaufswinkeln  $w_1$  und  $w_2$  kanonisch konjugiert sind, einzeln quanteln, sondern muß zu neuen kanonischen Variablen übergehen, nämlich  $w = w_1$ ,  $w' = w_1 - w_2$  mit den entsprechenden Impulsen  $J = J_1 + J_2$ ,  $J' = J_2$ . Sodann hat  $w'$  für das unendlich locker gekoppelte System die mittlere Bewegung Null, und man hat auf diese Variable die Methode der säkularen Störungen anzuwenden. Ähnliche Überlegungen gelten für die andere Paare von Winkelvariablen und Impulsen. Man kann nun leicht einsehen, daß es nur 4 Typen von Bahnen mit einfachen Periodizitätseigenschaften gibt.<sup>1)</sup> Bei diesen bilden die Bahnnormalen der beiden Atome gleiche Winkel  $i$  mit der Verbindungslinie der Kerne, und es ist  $\cos i = \frac{P}{J}$

wo  $P$  den gesamten Impuls um diese Linie und  $J$  die oben eingeführte Quantensumme bedeutet. Die vier Bahntypen unterscheiden sich dadurch, daß die positive Richtung der Knotenlinie  $K$  (Schnittlinie der



Bahnebene mit der zur Achse senkrechten Ebene, positiv am aufsteigenden Knoten) in beiden Atomen gleich oder entgegengesetzt sein kann und daß die Elektronen an entsprechenden oder gegenüberliegenden Stellen der Bahnen stehen können. (S. Fig.)

Es ist anschaulich klar, und man rechnet auch leicht nach, daß nur einer der vier Fälle stabil ist, nämlich der, wo die Knotenlinien entgegengesetzt sind, die Elektronen aber an homologen Stellen stehen

<sup>1)</sup> Der kleinste Wert, den das Wirkungsintegral  $J'$  der ausgearteten Winkelvariablen  $w'$  annehmen kann, ist Null; indem man  $J'$  auf Grund der säkularen Störungen berechnet, erkennt man, daß aus  $J' = 0$  sogleich  $w' = \text{konst.}$  folgt, und die Bewegungsgleichungen lassen dann nur die Werte  $w' = 0$  und  $w' = \pi$  zu. Es stellen sich also von selbst Phasenbeziehungen zwischen den Elektronen der beiden Atome her. Dasselbe muß in allen Fällen gelten, wo mehrere gleiche Atome zu einem Molekel- oder Kristallverband zusammentreten. Dieses Ergebnis erscheint mir sehr wichtig. A. Landé hat bereits vor einiger Zeit (Z. f. Phys. 4, S. 410; 6, S. 10, 1921) ein Diamantmodell durchgerechnet, bei dem die einander entsprechenden Elektronen aller Atome sich nicht nur in äquivalenten Bahnen, sondern auch in gleicher Phase bewegten. Diese Annahme des Atomsynchronismus scheint sich also auf die Prinzipien der Quantentheorie stützen zu lassen.

(Fall III). Weiter sind nur noch drei Möglichkeiten vorhanden. Die Quantensumme  $J$  ist nämlich nach dem Adiabatenprinzip gleich  $2h$  zu setzen, weil für die einquantigen Atome  $J_1 = J_2 = h$  gilt. Sodann bleiben für den Impuls um die Kernachse nur die drei Werte  $P = 0, h, 2h$ , die den Bahnstellungen  $\cos i = 0, \frac{1}{2}, 1$  entsprechen. Im ersten Falle hat man das von Lenz vorgeschlagene Modell, wo beide Elektronen dauernd in einer Meridianebene durch die Kernachse laufen; der letzte Fall führt bei hinreichender Annäherung der Kerne auf das Bohr-Debyesche Modell, wo beide Elektronen in derselben, senkrecht auf der Kernachse stehenden Ebene laufen. Ersteres System ist wahrscheinlich, letzteres sicher mechanisch nicht stabil und darum von Bohr selbst längst aufgegeben. Es bleibt also nur der Fall  $P = h$ ,  $\cos i = \frac{1}{2}$ ,  $i = 60^\circ$ ; ich hoffe zeigen zu können, daß dieser stabil ist. Nimmt man an, daß das für großen Kernabstand konstruierte Modell bei Annäherung der Kerne im großen und ganzen erhalten bleibt, so empfiehlt sich die Konfiguration III durch mehrere erwünschte Eigenschaften: Das Gleichgewicht der Kerne tritt nach unseren Kenntnissen über das Trägheitsmoment bei einem Ab-

stand ein, der von der Größenordnung des Radius des normalen H-Atoms ist; dann kommt aber das Elektron eines Atoms dem Kern des andern sehr nahe, und es ist zu erwarten, daß die Dissoziationsenergie größer ausfällt als bei dem Bohr-Debyeschen Modell. Ferner hat Bohr bei seinen Atomuntersuchungen erfolgreich das Prinzip angewandt, daß diejenigen Bahnen nicht vorkommen, deren Ebenen zusammenfallen, und daß von den übrigen die mit kleinstem Moment dem Normalzustand entspricht. Diese Regel führt in unserem Falle gerade auf das Modell  $P = h$ ,  $i = 60^\circ$ . Endlich gelangt man, wenn man die Kerne allmählich zusammenrücken läßt, gerade zu dem Modell des Parheliums im Normalzustand, das neuerdings von Bohr angegeben worden ist und aus vielen Gründen als die wahrscheinlichste Konfiguration des Heliums gelten muß.

Ich glaube daher, daß man so lange das hier aus den Prinzipien der Quantentheorie abgeleitete Modell als das wahrscheinlich richtige ansehen muß, als nicht etwa die genaue Durchrechnung Widersprüche mit der Erfahrung ergibt. Das von Eucken vorgeschlagene Modell aber widerspricht der Forderung, daß die Molekel aus den Atomen auf adiabatischem Wege herstellbar sein muß und ist daher wohl abzulehnen.

Göttingen, 27. Juni 1922.

M. Born.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von

**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1922 by Julius Springer in Berlin...

RECEIVED  
SEP 18 1922

Heft 32. (Seite 679—702)

11. August 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Die räumliche Dichteverteilung im Sternsystem. Von *Hans Kientle, München*. (Mit 7 Abbildungen.) S. 679.  
Über die Lebensweise und das Aussterben der Ammoniten. Von *S. von Bubnoff, Breslau*. S. 687.

### Besprechungen:

Charlier, C. V. L., Vorlesungen über die Grundzüge der mathematischen Statistik. Von *Philipp Frank, Prag*. S. 690.  
Strömgren, Elis, Astronomische Miniaturen. Aus dem Schwedischen übersetzt. Von *W. E. Bernheimer, Wien*. S. 691.  
Hauser, F., Über das „*kitāb al hijal*“ — das Werk der sinnreichen Anordnungen — der Benū Mūsā. Von *P. Schröder, Stuttgart*. S. 691.  
Rübel, Eduard, Geobotanische Untersuchungsmethoden. Von *W. Wangerin, Danzig-Langfuhr*. S. 692.

### Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Zur Krisis des Kausalitätsbegriffs. Von *J. Petzoldt, Berlin-Spandau*. S. 693.

### Deutsche Geologische Gesellschaft zu Berlin:

Studien an Rinnen und Sanderflächen in Norddeutschland. S. 695.

### Physiologische Mitteilungen. S. 695—698.

Unsere Kenntnisse vom experimentellen Trachom. Teilweiser Verlust des erwerblichen Sehens nach dem Entschädigungsgesetz im Staate New York. Die Verkupferung des Auges. Das sogenannte Schneelandschaftsphänomen. Die Messung des Glanzes von Papier und ähnlichen Flächen. Marksteine in der Lehre von der Refraktion. Untersuchungen über die Physiologie und Pathologie der Blasenfunktion. Gefriererler. Über die Biologie einer Chalcidide (Schlupfwespe). Kohlenoxydvergiftung in geschlossenen Garagen.

### Geographische Mitteilungen. S. 698—700.

Die Verteilung der Bevölkerung von Mexiko. Über die Sierra Perija zu den Ölfeldern am Rio de Oro. Über den Ursprung der südaustralischen Salzlager. Über völligen Pflanzenmangel in Wüsten. Die Draperiewälder in Hawaii.

### Astronomische Mitteilungen. S. 700—702.

Die Definition einer Nova.



# GOERZ

## Largon-Brillengläser

Garantierte Akkommodationsruhe des  
Auges für den Blick in die Ferne.  
Daher größte Schonung der Augen.

Bezug durch die Optiker. / Druckschriften kostenfrei.

Optische Anstalt C. P. Goerz A.-G. Berlin-Friedenau 91.

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagsbuchhandlung zum Preise von M. 100.— für das dritte Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 9.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 9.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40 % Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck: für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20220 Julius Springer,  
Konten: für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

## Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu kaufen gesucht. Angebote unter  
Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

## Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

**J. D. Möller, Wedel in Holstein.**  
Gegründet 1864. (294)

## Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Soeben erschien:

# Der Aufbau der Materie

Drei Aufsätze über moderne Atomistik und Elektronentheorie

Von **Max Born**

Zweite, verbesserte Auflage. Mit 37 Textabbildungen. (VI, 86 S.) Preis M. 36.—

#### Inhaltsverzeichnis:

##### Das Atom.

Einleitung. 1. Elektronen und Kerne. 2. Aufbau des Atoms. 3. Die Atomistik der Elektrizität. 4. Die positive Elektrizität. 5. Die Ladung des Elektrons. 6. Die Größe der Elektronen und Kerne. 7. Thomsons Atommodell. 8. Rutherfords Kerntheorie. 9. Die Interferenz der Röntgenstrahlen. 10. Die Röntgenspektren. 11. Der Atombau. 12. Chemische Folgerungen. 13. Die sichtbaren Spektren. 14. Die Quantentheorie der Atome. 15. Der Aufbau der Kerne. Literatur.

##### Vom mechanischen Äther zur elektrischen Materie.

Einleitung. 1. Die elastische Lichttheorie. 2. Die elektromagnetische Lichttheorie. 3. Die Atomistik. 4. Die Gittertheorie der Kristalle. 5. Die elektrische Natur der Molekularkräfte. 6. Atomgitter. 7. Elektrolytische Ionen. 8. Ionengitter. 9. Elektrische Kontraktionskraft. 10. Die Abstoßungskraft. 11. Die Berechnung der Kompressibilität. Literatur.

##### Die Brücke zwischen Chemie und Physik.

1. Die Probleme der chemischen Affinitätslehre. 2. Die chemischen Elementargrößen. 3. Die Bindungsenergie zweiatomiger Molekeln. 4. Die Energie der Kristallgitter. 5. Reaktionen zwischen binären Salzen. 6. Die Ionisierungsenergie der positiven Ionen. 7. Die Elektronenaffinität der elektronegativen Atome. 8. Die Ionisierungsenergie der Halogenwasserstoffe. 9. Die Verdampfungswärme der einwertigen Metalle. 10. Ausblick. Literatur.

Vor kurzem erschien:

# Fluoreszenz und Phosphoreszenz im Lichte der neueren Atomtheorie

Von **Peter Pringsheim**

Mit 32 Textfiguren. (VIII, 202 S.) Preis M. 48.— (u. Teuerungszuschlag)

#### Inhaltsübersicht:

Vorwort. — I. Einleitung. — II. Die Resonanzstrahlung. — III. Resonanzspektren. — IV. Die Bandenfluoreszenz von Dämpfen und Gasen. — V. Leuchtdauer und Polarisation der Fluoreszenzstrahlung von Gasen und der Einfluß magnetischer Felder. — VI. Die Fluoreszenz und Phosphoreszenz fester und flüssiger Lösungen. — VII. Die Gruppe der Erdalkaliphosphore. — VIII. Linienfluoreszenz von Kristallen. — IX. Fluoreszenz organischer Verbindungen. — Literaturverzeichnis. — Sachregister.

**Zu beziehen durch jede Buchhandlung**



## Die räumliche Dichteverteilung im Sternsystem.

Von Hans Kienle, München.

Bei den Untersuchungen über die Verhältnisse, die in der Welt der Fixsterne herrschen, kommen bekanntlich ganz andere Gesichtspunkte in Betracht, als man sie vom Planetensystem her gewohnt ist. Hier gehört unsere ganze Anteilnahme dem Einzelindividuum, seiner Bewegung, Größe, Oberflächenbeschaffenheit, und dies Interesse kann befriedigt werden, weil die Anzahl der Mitglieder des Systems klein ist — wenn wir von dem Heer der „kleinen Planeten“ absehen, die den Astronomen nachgerade „über den Kopf wachsen“. Dort bei den Fixsternen dagegen geht das Einzelindividuum mit seinen speziellen Eigenschaften unter in der großen Masse und kann im allgemeinen nur einen recht bescheidenen Beitrag liefern zu unserer Kenntnis vom Aufbau der Welt und den Gesetzen ihres Bestehens und ihrer Fortentwicklung. *Stellarastronomie* in ihrer vornehmlichsten Bedeutung ist darum *Stellarstatistik*. Nur durch Verwendung von Mittelwerten, durch Gruppierung der Sterne nach verschiedenen Gesichtspunkten vermögen wir langsam dem Endziele unserer Forschung uns zu nähern. Es möge ein Beispiel gestattet sein: Im kleinen Dorfe kennt jeder den anderen, weiß jedes Haus nach Lage und Größe und Anzahl der Bewohner zu beschreiben. In der Geographie der Länder gibt es keine Namen- und Grundstückverzeichnisse, die ob ihres Umfanges nur verwirrend wirken könnten; hier spricht man nur noch von einer „mittleren Bevölkerungsdichte“. Das ist ein Begriff, der jedem von der Schule her geläufig ist und mit dem sich wohl unwillkürlich die Vorstellung gewisser Landkarten mit verschieden kräftiger oder verschiedenfarbiger Schraffierung verbindet. Das aber ist der Begriff, den wir auch in der Stellarastronomie, dieser Weltgeographie von größtem Ausmaße, brauchen. *Die räumliche Dichteverteilung, d. h. die Anzahl von Sternen in einer bestimmten Raumeinheit, in ihrer Abhängigkeit vom Orte kennen zu lernen, ist eine der großen Aufgaben der Stellarastronomie.* Die Kenntnis der Dichte„funktion“ setzt uns instand, in einfacher Weise ein Bild von dem Aufbau der Welt zu entwerfen.

Zur Vervollständigung dieses Bildes kommen allerdings auch noch andere „Funktionen“ hinzu, deren Erforschung Ziel der Stellarastronomie ist; und wenn wir uns im folgenden auch auf die räumliche Dichteverteilung beschränken werden, so wollen wir dieser anderen Funktionen doch

wenigstens Erwähnung tun. Ein wesentliches Charakteristikum der Sterne ist ihre „absolute Helligkeit“, d. i. jene Helligkeit, in der sie uns leuchteten, wenn wir sie alle in den gleichen Abstand von uns versetzen würden. Es ist nun aus vielen Gründen wichtig zu wissen, wieviele Sterne einer bestimmten absoluten Helligkeit es gibt. Diese Frage beantwortet die „Verteilungsfunktion der absoluten Leuchtkräfte“. Beide genannten Funktionen, die räumliche Dichte  $D$  und die Verteilungsfunktion der absoluten Leuchtkräfte  $\varphi(i)$  werden wesentlich davon beeinflusst, ob das Licht von den Sternen ungeschwächt zu uns dringt oder ob es auf dem Wege durch den Weltenraum zum Teil ausgelöscht wird. Diese Absorption oder Extinktion ist daher ebenfalls ein wichtiger Gegenstand der Untersuchungen, unsere Kenntnisse von ihr aber sind noch so mangelhaft, daß wir meistens auf ihre Berücksichtigung verzichten müssen.

Bisher haben wir das Fixsternsystem nur als statisches System betrachtet; es bleibt noch das große Kapitel der Bewegungen, das in letzter Linie seinen Ausdruck findet in der Aufstellung der Verteilungsfunktion der Geschwindigkeiten. Herrschen in den Bewegungen die reinen Gesetze des Zufalls, ausgedrückt durch eine „Maxwellsche Verteilung“ der Geschwindigkeiten? Oder aber werden Bewegungen von bestimmter Größe und Richtung bevorzugt? Hier ist die Forschung noch mitten im Fluß und in den Untersuchungen mischen sich noch die Voraussetzungen regelloser Verteilung und die unzweideutigen Anzeichen bevorzugter Geschwindigkeiten.

Das Alter der Stellarastronomie ist auf noch nicht 150 Jahre zu veranschlagen, und als ihr Vater kann mit Fug und Recht W. Herschel betrachtet werden. Er hat zum ersten Male, abweichend von dem vorher begangenen Wege reiner Spekulation, folgerichtig versucht, auf empirischer, durch Beobachtungen geschaffener Grundlage, die grössten Züge des Fixsternsystems zu entwirren. Natürlich ging es nicht ohne hypothetische Voraussetzungen, die zum Teil inzwischen aufgegeben werden mußten. Aber ein Teil der Herschelschen Vorstellungen hat sich bis heute behaupten können. Zu den verlassenen Annahmen *Herschels* gehört die einer durchschnittlich konstanten Dichte der Sternverteilung; denn sie führte zu Schlüssen, deren Unvereinbarkeit mit gewissen Beobachtungstatsachen sich bald zu erkennen gab. Man braucht wohl kaum Prioritätsstreitigkeiten zu befürchten, wenn man in den Arbeiten v. *Seeligers* über die scheinbare und räumliche Verteilung der Fixsterne die erste

Lösung des Grundproblems der modernen Stellarastonomie, eben die Beantwortung der Frage nach dem Verlauf der räumlichen Dichteverteilung, erkennt. Die fundamentalen Formeln sind in der Folge auch in anderer Weise angewandt und interpretiert worden, mit welchen Ergebnissen, das soll hier auseinandergesetzt werden.

Es seien nur noch ein paar Bemerkungen vorausgeschickt über die Veranlassung zur Abfassung dieses Aufsatzes. *Kapteyn* und *van Rhijn* hatten vor einiger Zeit eine Arbeit veröffentlicht<sup>1)</sup>, in der sie insbesondere auch die Dichteverteilung untersuchten und eine kleine zeichnerische Darstellung ihrer Ergebnisse beigaben. Methode und Ergebnisse dieser Arbeit sind zusammen mit der Zeichnung in die neue Auflage der Populären Astronomie von *Newcomb-Engelmann* aufgenommen, aber nicht mit derselben Vorsicht interpretiert worden, welche die Verfasser selbst haben walten lassen. Zeichnungen, Bilder haben etwas Eindringliches, Tabellen und Formeln bleiben den meisten eindrucklose Schemen. Mir drängten sich daher zwei Aufgaben auf: auch die Arbeiten anderer — *v. Seeliger*, *Schwarzschild*, *Charlier* — in anschauliche Bilder umzusetzen und mit der *Kapteyns* zu vergleichen; und dann die Sicherheit der Resultate ganz allgemein einer Prüfung zu unterziehen, um zu sehen, wieweit unsere augenblickliche Vorstellung vom Bau des Fixsternsystems als gefestigt gelten kann. Dabei ergab sich ganz von selber eine Einteilung des Stoffes in drei Abschnitte, gekennzeichnet durch die Schlagworte: das *schematische*, das *typische* und das *wirkliche Sternsystem*.

### I. Das schematische Sternsystem.

Im schematischen Sternsystem ist die größtmögliche Idealisierung vorgenommen, weshalb es nur in ganz bestimmten Zügen dem wirklichen System entsprechen wird: *die Sonne steht im Mittelpunkt des Systems* und *die Dichte der Sternverteilung ist nur eine Funktion der Entfernung von der Sonne*, nimmt also nach allen Richtungen vom Mittelpunkt aus in gleicher Weise ab oder zu. Daß die Sonne jedenfalls nicht sehr weit ab vom Zentrum des Systems steht, kann heute mit einiger Bestimmtheit angenommen werden. Einschneidender ist die andere Vereinfachung, die hauptsächlich damit zu begründen ist, daß den über den ganzen Himmel gemittelten Zahlenwerten eine hohe Sicherheit zukommt, so daß sich gewisse Aussagen über die Form der Dichtefunktion gewinnen lassen. Für eine erste Orientierung bleiben diese Betrachtungen über die mittleren Verhältnisse stets wertvoll.

Die von *v. Seeliger* benutzte Formel des Dichtegesetzes

$$D(r) = \gamma [r^{-\lambda} - \alpha r^{-\lambda_1}]$$

wo  $r$  die Entfernung,  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\lambda_1$  aus den Beobachtungen zu bestimmende Konstante sind, erscheint auf den ersten Blick ziemlich unmotiviert. Sie ist folgendermaßen entstanden: *v. Seeliger* hatte in seiner ersten Arbeit gezeigt, daß, wenn die Sternanzahlen  $A_m$ <sup>2)</sup> ein Gesetz von der Form

$$A_m = c \cdot h_m^{\frac{\lambda-3}{2}}$$

befolgen ( $c$  = Konstante,  $h_m$  = scheinbare Helligkeit), die Dichtefunktion die einfache Gestalt haben muß

$$D(r) = \gamma r^{-\lambda}$$

und zwar gleichviel, welches die Verteilungsfunktion der absoluten Leuchtkräfte sei. Die genannte Voraussetzung war bei dem von *v. Seeliger* damals benutzten Material erfüllt. Da aber dieses Dichtegesetz in der Folge auf gewisse Unstimmigkeiten führte, fügte *v. Seeliger* ein Korrektionsglied hinzu, so daß die obige Form entstand, die man, wenn  $\lambda_1 - \lambda = \frac{1}{2}$  gesetzt wird, auch so schreiben kann:

$$D_S(r) = \gamma r^{-\lambda} \left(1 - \frac{\alpha}{\sqrt{r}}\right)$$

Der Korrektionsfaktor  $1 - \frac{\alpha}{\sqrt{r}}$  bewirkt nur in der nächsten Umgebung der Sonne eine kleine Abänderung der Dichteverteilung ( $\alpha$  hat den Wert 0,75), beseitigt aber die erwähnten Schwierigkeiten. Noch eins ist zu bemerken: wenn  $\sqrt{r} < \alpha$  ist, wird der Korrektionsfaktor negativ und man erhielte negative Dichten, was nicht sein kann. Man muß daher den Raum innerhalb der Grenze  $r = \alpha^2$  als sternleer annehmen. Dagegen besteht kein Bedenken. Denn die fragliche Grenze entspricht einer Parallaxe von 0,35", und Sterne, die uns näher sind, d. h. deren Parallaxe größer als 0,35" ist, kennen wir bisher heute tatsächlich nur ein paar, so daß praktisch diese kleine Kugel um die Sonne wirklich als sternleer angenommen werden kann.

Ein wesentlicher Punkt in den Untersuchungen *v. Seeligers* ist bekanntlich die Begrenztheit unseres Sternsystems. *Schwarzschild* hat das Problem eines unendlichen Sternsystems behandelt. Gewisse Annahmen über den Verlauf der Sternanzahlen  $A_m$  und der Verteilungsfunktion  $\varphi(i)$  führten ihn auf die folgende Form des Dichtegesetzes, die wesentlich anders geartet ist als die wir eben kennen lernten:

$$D_{Sch}(r) = ea + b \log r + c (\log r)^2$$

Hier ist  $e$  die bekannte transzendente Zahl,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  sind die aus den Sternanzahlen zu bestimmenden Konstanten. *Kapteyn* und *v. Rhijn* benutzen in ihren Untersuchungen dieselbe Formel.

In den Arbeiten *Charliers* tritt, wenn auch in anderer äußerer Form, im Prinzip die gleiche Funktion für die Dichteverteilung auf wie bei *Schwarzschild*. Es sind meist Gründe mathe-

<sup>1)</sup> On the distribution of the stars in space . . . Ap. J. LII (Mt. Wilson Contr. 188), 1920.

<sup>2)</sup> Siehe den Aufsatz von *Bottlinger*: „Die Naturwissenschaften“ 1919.



matischer, formelmäßiger Eleganz, welche *Charlier* auf Formen bringen, die auf den ersten Blick so vollkommen anders aussehen, als man sie in den Arbeiten der anderen „Schulen“ gewohnt ist. Wir können uns also auf die beiden angeführten Typen der Dichtefunktion beschränken und wollen sie in logarithmischer Form anschreiben. Um die Resultate der einzelnen Forscher vergleichbar zu machen, bedarf es aber noch einer kleinen Umrechnung. In der Stellarastronomie hat sich ja leider noch immer nicht eine bestimmte Entfernungseinheit durchgesetzt. *v. Seeliger* benutzt die „Siriusweite“, entsprechend einer Parallaxe 0,2"; *Charlier* das damit praktisch identische „Siriometer“, das 10<sup>6</sup> Erdbahnradien und daher einer Parallaxe 0,206" entspricht; *Schwarzschild* und *Kapteyn* rechnen mit der „Sternweite“ bzw. dem „parsec“, entsprechend der Parallaxe 1,0". Unbeschadet meiner persönlichen Stellungnahme in der ganzen Angelegenheit soll für das Folgende die Siriusweite als Entfernungseinheit genommen werden. Es ist, zur Umrechnung:

$$1 \text{ Siriusweite} = 5 \text{ parsec} = 16,3 \text{ Lichtjahre} = 154 \cdot 10^{12} \text{ km.}$$

Dies vorausgeschickt, berechnet sich die Dichte, d. i. die Anzahl der Sterne in 1 Kubiksiriusweite = 125 Kubikparsec aus den Formeln:

$$\begin{aligned} \log D_S &= 2,851 - 0,655 \log r + \log \left(1 - \frac{0,754}{\sqrt{r}}\right) \\ &\text{Seeliger}^3) \\ \log D_{Sch} &= 2,816 + 0,177 \log r - 0,220 (\log r)^2 \\ &\text{Schwarzschild} \\ \log D_K &= -0,161 + 1,465 \log r - 0,655 (\log r)^2 \\ &\text{Kapteyn}^4) \end{aligned}$$

In Tabelle 1 sind die Dichten nach diesen Formeln berechnet für verschiedene Entfernungen.

Die Zahlen der Tabelle erwecken zunächst keineswegs den Eindruck großer Ähnlichkeit. Gegenüber der allen drei Reihen  $D_S$ ,  $D_{Sch}$ ,  $D_K$  gemeinsamen Eigenschaft einer starken Abnahme mit wachsender Entfernung fällt vor allem die große Verschiedenheit der absoluten Beträge auf. Greifen wir z. B.  $r=10$  heraus, so finden sich nach *Seeliger* 120 Sterne in der Raumeinheit, nach *Schwarzschild* fast 600, nach *Kapteyn* aber nur 4%, so daß im Schwarzschild'schen Sternsystem die Sterne 5mal so dicht stehen als im Seeligerschen und über 100mal so dicht als bei *Kapteyn*. Um zunächst die gemeinsamen Züge studieren zu können, wollen wir die Zahlen dadurch vergleichbar machen, daß wir jeweils die Dichte in der Entfernung 10 als Einheit wählen und sie gleich 100 setzen. Dann entstehen die Zahlen  $D'_S$ ,  $D'_{Sch}$ ,  $D'_K$  der Tabelle, die ihren bildlichen Ausdruck in den Kurven der Fig. 1 gefunden haben. Der Verlauf der Dichtekurven

<sup>3)</sup> Gültig für  $r > 0,564$ .

<sup>4)</sup> Dies sind die von *K.* für 30° galaktische Breite angegebenen Koeffizienten, die etwa mittleren Verhältnissen entsprechen.

Tabelle 1  
Räumliche Dichteverteilung

$r$  = Entfernung in Siriusweiten

$D_S$ ,  $D_{Sch}$ ,  $D_K$  = Anzahl der Sterne in der Kubiksiriusweite nach *Seeliger*, *Schwarzschild*, *Kapteyn*

$D'_S$ ,  $D'_{Sch}$ ,  $D'_K$  = Dichte in Prozenten der in der Entfernung  $r=10$  herrschenden Dichte ausgedrückt

| $r$  | $D_S$ | $D_{Sch}$ | $D_K$ | $D'_S$ | $D'_{Sch}$ | $D'_K$ |
|------|-------|-----------|-------|--------|------------|--------|
| 1    | 175   | 655       | 0,69  | 146    | 110        | 15     |
| 2    | 211   | 705       | 1,67  | 176    | 119        | 37     |
| 3    | 195   | 708       | 2,45  | 163    | 119        | 55     |
| 4    | 178   | 696       | 3,05  | 149    | 117        | 68     |
| 5    | 164   | 678       | 3,50  | 137    | 114        | 78     |
| 10   | 120   | 593       | 4,47  | 100    | 100        | 100    |
| 20   | 83    | 472       | 4,33  | 69     | 80         | 97     |
| 30   | 66    | 394       | 3,76  | 55     | 67         | 84     |
| 40   | 56    | 343       | 3,21  | 47     | 58         | 72     |
| 50   | 49    | 303       | 2,75  | 41     | 51         | 61     |
| 100  | 32    | 195       | 1,42  | 27     | 33         | 32     |
| 200  | 21    | 114       | 0,55  | 17     | 19         | 12     |
| 300  | 16    | 80        | 0,28  | 14     | 14         | 6      |
| 400  | 13    | 61        | 0,17  | 11     | 10         | 4      |
| 500  | 11    | 49        | 0,11  | 10     | 8          | 2      |
| 600  | 10    | 41        | 0,07  | 9      | 7          | 1      |
| 700  | (9)   | 35        | 0,05  | (8)    | 6          | 1      |
| 800  | (9)   | 30        | 0,04  | (7)    | 5          | 0      |
| 900  | (8)   | 26        | 0,03  | (7)    | 4          | 0      |
| 1000 | (8)   | 23        | 0,02  | (6)    | 4          | 0      |

innerhalb der Entfernung  $r=10$  ist belanglos, da hier die Unsicherheit der Bestimmung sehr groß ist. Jenseits  $r=10$  erkennen wir nun aber eine ziemlich weitgehende Ähnlichkeit. Die Kurven *v. Seeligers* und *Schwarzschilds* können praktisch als identisch betrachtet werden, die *Kapteyns* zeigt am Anfang eine wesentlich langsamere Abnahme der Dichte an, um dann zwischen  $r=100$  und 150 unter die beiden anderen herabzusinken.

In die Figur ist noch eine Kurve *Charliers* mit eingezeichnet, die nicht unmittelbar vergleichbar ist, weil sie sich nur auf die Milchstraße bezieht. Wenn man aber bedenkt, daß in der Milchstraße die Dichteabnahme langsamer erfolgt als in den anderen Richtungen, so würde die den anderen entsprechende Kurve *Charliers* noch steiler abfallen als die gezeichnete, die Abweichung also noch auffälliger werden.

Nach *v. Seeliger* liegt die Grenze des Fixsternsystems in der Entfernung  $r_1=580$  Siriusweiten, so daß die in der Tabelle eingeklammerten Zahlen durch die Werte 0 zu ersetzen sind, weil die Formel sinngemäß natürlich nur bis zur Grenze des Systems angewandt werden kann. Wie man aus den Zahlen  $D'_{Sch}$  und  $D'_K$  sieht, ergibt die Voraussetzung eines unendlichen Sternsystems in diesen Entfernungen bereits so geringe Dichten, daß praktisch das System auch zu Ende ist. Es ist eben nur die Frage, ob tatsächlich ein

ziemlich plötzlicher Abbruch stattfindet bei Werten der Dichte, die noch 10 % betragen — *v. Seeliger* —, oder aber ob das System asymptotisch verläuft — *Schwarzschild*, *Kapteyn*. *v. Seeliger* hat bekanntlich ersteres wahrscheinlich gemacht aus gewissen Eigenschaften der Sternzahlen<sup>5)</sup>.

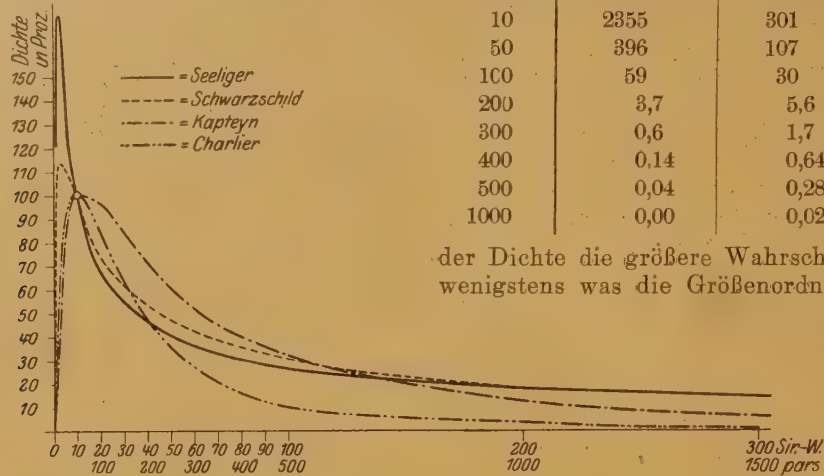


Fig. 1. Räumliche Dichteverteilung im schematischen Sternsystem, ausgedrückt in Prozenten der in der Entfernung 10 Siriusweiten = 50 parsec herrschenden mittleren Dichte.

Abszissen: Entfernungen in Siriusweiten und parsec.

Ordinaten: Dichte in Prozenten der Dichte in  $r = 10$  Siriusweiten.

Wie man aus den Zahlen außerdem sieht, ist die Dichte nicht im Zentrum ein Maximum, sondern erst in einiger Entfernung. Wir haben darin das erste Anzeichen zu erkennen, daß in der Tat unsere Sonne etwas abseits vom Mittelpunkt des Systems steht. Zur Vervollständigung des Bildes seien noch die Entfernungen angeführt, in denen  $D(r)$  das Maximum erreicht:

|                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| <i>v. Seeliger</i>   | $r = 1,75$ Siriusweiten |
| <i>Schwarzschild</i> | $r = 2,5$ „             |
| <i>Kapteyn</i>       | $r = 13$ „              |
| <i>Charlier</i>      | $r = 11$ „              |

Es bleibt uns jetzt noch zu diskutieren die große Verschiedenheit in den Absolutwerten der Dichte. Woher kommt diese große Spannweite zwischen maximal 700 Sternen pro Raumeinheit bei *Schwarzschild* und knapp 5 bei *Kapteyn*? Diese Frage kann man nicht beantworten, ohne auf die mathematische Form des Problems einzugehen. Der Absolutwert der Dichte ist sehr abhängig von gewissen Parametern in den Formeln, und diese Parameter lassen sich aus den Beobachtungen vorerst nur recht unsicher bestimmen. Zur Veranschaulichung dessen sei eine kleine Tabelle von *Charlier* mitgeteilt.  $\lambda$  ist der fragliche Parameter, und die Beobachtungen lassen die Werte von  $\lambda = 1/3$  bis  $\lambda = 2/3$  zu. Damit ergeben sich aber folgende Dichten (Tabelle 2):

Man kann auf folgende Weise gewisse Anhaltspunkte dafür gewinnen, welche Absolutwerte

Tabelle 2  
Dichte nach *Charlier* für verschiedene Werte des Parameters  $\lambda$

| $r$  | $\lambda = 1/3$ | $\lambda = 1/2$ | $\lambda = 2/3$ |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 10   | 2355            | 301             | 34              |
| 50   | 396             | 107             | 19              |
| 100  | 59              | 30              | 8               |
| 200  | 3,7             | 5,6             | 2,4             |
| 300  | 0,6             | 1,7             | 1,0             |
| 400  | 0,14            | 0,64            | 0,51            |
| 500  | 0,04            | 0,28            | 0,29            |
| 1000 | 0,00            | 0,02            | 0,04            |

der Dichte die größere Wahrscheinlichkeit haben, wenigstens was die Größenordnung anlangt. Ich

nehme dabei gewisse Ergebnisse einer noch nicht ganz abgeschlossenen Arbeit über die nächste Umgebung der Sonne vorweg, ohne sie weiter zu erläutern. Wir kennen heute 30 Sterne, deren Parallaxe zuverlässig  $\geq 0,20''$  ist, die also innerhalb einer Kugel vom Radius 1 Siriusweite liegen. Es ist nun nicht anzunehmen, daß wir damit bereits alle Sterne dieser Art aufgefunden hätten. Man kann — natürlich unter Vorbehalt — die Anzahl der Sterne abschätzen, die künftige Beobachtungen noch in diesen Raum verweisen werden, und kommt dann auf etwa 50 als Gesamtzahl.

Unsere Kugel hat einen Inhalt vom  $\frac{4\pi}{3} = 4,2$  Kubiksiriusweiten, so daß die mittlere Dichte in der Nähe der Sonne auf etwa 12 Sterne pro Kubiksiriusweite zu veranschlagen wäre. *Schwarzschild*s und *Charliers* Dichten erscheinen demnach viel zu groß, und der wahre Wert liegt zwischen *v. Seeliger* und *Kapteyn*, so zwar, daß *v. Seeliger*s Dichten etwa mit 10 dividiert, die *Kapteyn*s mit 4 oder 5 multipliziert werden müßten.

Von dem Absolutwert der Dichte hängt natürlich auch die Gesamtanzahl der Sterne im Sternsystem ab. *v. Seeliger* findet dafür je nach der Entfernung, in welche die Grenze versetzt wird, Werte zwischen 3 und 12 Milliarden. Bei *Schwarzschild* und *Kapteyn* ist zwar das System unendlich, aber infolge der exponentiellen Abnahme der Dichte findet man trotzdem eine endliche Anzahl der Sterne. Bei *Schwarzschild* ist diese Zahl allerdings das Millionenfache derjenigen *v. Seeligers*, nämlich  $1,4 \times 10^{16}$ , dagegen bei *Kapteyn*

<sup>5)</sup> Siehe Referat: „Die Naturwissenschaften“ 1921, S. 1022.



von ähnlicher Größe wie bei *v. Seeliger*, nämlich 1,2 Milliarden, woraus wieder die Gleichberechtigung beider Systeme folgt, wenn man hinzunimmt, daß *v. Seeligers* Dichten etwa zehnmal zu verkleinern sind.

Damit haben wir erschöpft, was über die mittleren Verhältnisse im Sternsystem auszusagen ist. Wir werden am Schluß die Hauptpunkte nochmal wiederholen und betrachten jetzt

## II. Das typische Sternsystem.

Wir machen einen wesentlichen Schritt zur Annäherung an die wirklichen Verhältnisse, indem wir der Erkenntnis Rechnung tragen, daß die Ebene der Milchstraße eine ausgezeichnete Rolle im Sternsystem spielt. Sie ist eine ausgesprochene Symmetrieebene. Zu der bisherigen Abhängigkeit der Dichteverteilung von der Entfernung vom Mittelpunkt — die Sonne behalten wir als Zentrum bei — fügen wir nun die weitere Abhängigkeit von der „galaktischen Breite“ in der Weise hinzu, daß wir den Himmel parallel zur Milchstraße in Zonen einteilen und für diese einzelnen Zonen die gleichen Rechnungen anstellen wie im vorigen Abschnitt für den ganzen Himmel. Es ist klar, daß die Sicherheit der Einzelresultate damit weiterhin abnimmt, ebenso aber, daß wir dem wahren Bilde näher kommen, was *v. Seeliger* durch die Prägung der Bezeichnung „typisches“ Sternsystem gegenüber dem „schematischen“ Sternsystem ausdrückte. Die einander südlich und nördlich der Milchstraße entsprechenden Zonen werden dabei jeweils zusammengekommen. *v. Seeliger* hat fünf Zonen von je 20° Breite: A die Kalotten am Pol der Milchstraße, E die Zone zwischen +10° und -10° galaktischer Breite. In den Arbeiten anderer Forscher werden entweder die gleichen Zonen benutzt oder es werden einfach die galaktischen Breiten angegeben, auf welche sich die Zahlen beziehen. Noch wieder eine andere Einteilung benutzen *Charlier* und seine Schüler; darüber wird im III. Abschnitt zu sprechen sein.

Tabelle 3

Konstante der Funktion  $\log D = \log \gamma - \lambda \log r + \log \left(1 - \frac{0,754}{\sqrt{r}}\right)$  und Grenze  $r_1$  des Sternsystems nach *v. Seeliger*

| Zone            | Gal. Br. | $\log \gamma$ | $\lambda$ | $r_1$ |
|-----------------|----------|---------------|-----------|-------|
| A               | ± 80°    | 2,926         | 0,775     | 180   |
| B <sup>6)</sup> | 60       | 656           | 615       | 220   |
| C               | 40       | 846           | 715       | 360   |
| D               | 20       | 918           | 675       | 580   |
| E               | ± 10     | 867           | 535       | 725   |

Die Tabelle 3 gibt die Ergebnisse der letzten Rechnungen *v. Seeligers* über das typische System,

<sup>6)</sup> Für Zone B habe ich die Rechnungen selbst durchgeführt, da *v. S.* diese Zone weggelassen hat.

und zwar zunächst die Konstanten für die oben angegebene Dichtefunktion, getrennt nach den einzelnen Zonen.

Die Konstanten der Tabelle 3 gestatten die Dichte für jede Entfernung getrennt nach den einzelnen Zonen zu berechnen. Dies ist in Tabelle 4 geschehen, wo die Zahlen wieder in Prozenten

Tabelle 4

Räumliche Dichteverteilung nach *v. Seeliger* als Funktion der Entfernung und der galaktischen Breite

| Zone<br>$r$ | E   | D   | C   | B  | A   | A' |
|-------------|-----|-----|-----|----|-----|----|
| 5           | 172 | 155 | 123 | 93 | 134 | 76 |
| 10          | 137 | 111 | 86  | 70 | 90  | 66 |
| 20          | 103 | 76  | 57  | 50 | 58  | 47 |
| 30          | 86  | 60  | 44  | 40 | 44  | 38 |
| 40          | 75  | 51  | 37  | 35 | 34  | 31 |
| 50          | 68  | 44  | 32  | 31 | 30  | 27 |
| 60          | 62  | 39  | 28  | 28 | 27  | 24 |
| 70          | 58  | 36  | 26  | 25 | 24  | 22 |
| 80          | 54  | 33  | 23  | 23 | 22  | 20 |
| 90          | 51  | 30  | 21  | 22 | 20  | 18 |
| 100         | 48  | 29  | 20  | 21 | 18  | 16 |
| 200         | 34  | 18  | 13  | 14 | 11  | 10 |
| 300         | 28  | 14  | 10  | 11 | 8   | 8  |
| 400         | 24  | 12  | 8   | 9  | 6   | 6  |
| 500         | 21  | 10  | 7   | 8  | 5   | 5  |
| 600         | 19  | 9   | 6   | 7  |     |    |
| 700         | 18  | 8   | 5   |    |     |    |
| 800         | 17  | 7   |     |    |     |    |
| 900         | 16  | 7   |     |    |     |    |
| 1000        | 15  |     |     |    |     |    |

Einheit: Dichte 100 = 120 Sterne pro Kubiksiriusweite

ausgedrückt sind. Dichte 100 entspricht 120 Sternen pro Kubiksiriusweite. Die Zahlen unter den horizontalen Strichen sind Extrapolationen über die Grenzen des Systems hinaus und wären in Wirklichkeit alle durch 0 zu ersetzen. Innerhalb  $r = 10$  wirken die Unsicherheiten der Konstanten zu stark auf die Resultate ein, als daß die hier gefundene Dichteverteilung irgendwelche Bedeutung hätte. In der Zone A macht sich diese Unsicherheit auch noch sehr viel weiter geltend, weshalb *v. Seeliger* noch eine andere Rechnung unter Abänderung der Konstanten  $\alpha$  vorgenommen hat. Die daraus sich ergebenden Zahlen A' dürften den wahren Verhältnissen besser entsprechen und sollen im folgenden allein benutzt werden.

Wir wollen den Ergebnissen *v. Seeligers* gleich die *Kapteyns* und *van Rhijns* an die Seite stellen, um beide dann gemeinsam zu betrachten. Die Tabellen 5 und 6 geben in entsprechender Weise die Konstanten der Dichtefunktion und die Auswertung der Formeln für die nämlichen Stellen wie in Tabelle 4. Dichte 100 entspricht hier 4,5 Sternen pro Kubiksiriusweite.

Betrachtet man bei *Kapteyn* praktisch die Grenze des Systems als erreicht, wenn die Dichte

Tabelle 5

Konstante der Funktion  $\log D = a + b \log r + c (\log r)^2$   
nach Kapteyn und van Rhijn

| Breite | a      | b      | c      | $r_1$ |
|--------|--------|--------|--------|-------|
| 90°    | -1,942 | +3,970 | -1,538 | 160   |
| 60     | 1,043  | 2,567  | 1,060  | 180   |
| 30     | 0,160  | 1,465  | 0,655  | 350   |
| 0      | 0,338  | 1,649  | 0,593  | 900   |

Tabelle 6

Räumliche Dichteverteilung nach Kapteyn und van Rhijn  
als Funktion der Entfernung und der galaktischen Breite

| Breite<br>$r$ | 0°  | 30° | 60° | 90° |
|---------------|-----|-----|-----|-----|
| 5             | 75  | 78  | 38  | 27  |
| 10            | 117 | 100 | 65  | 69  |
| 20            | 142 | 97  | 71  | 93  |
| 30            | 143 | 84  | 61  | 82  |
| 40            | 136 | 72  | 50  | 66  |
| 50            | 126 | 61  | 41  | 52  |
| 60            | 117 | 53  | 33  | 40  |
| 70            | 109 | 46  | 27  | 31  |
| 80            | 101 | 40  | 23  | 25  |
| 90            | 93  | 36  | 19  | 20  |
| 100           | 87  | 32  | 16  | 16  |
| 200           | 46  | 12  | 4   | 3   |
| 300           | 29  | 6   | 2   | 1   |
| 400           | 19  | 4   |     |     |
| 500           | 14  | 2   |     |     |
| 600           | 10  |     |     |     |
| 700           | 8   |     |     |     |
| 800           | 6   |     |     |     |
| 900           | 5   |     |     |     |
| 1000          | 4   |     |     |     |

Einheit: Dichte 100 = 4,5 Sterne pro Kubiksiriusweite

unter 5 % sinkt, so erhält man die in Tabelle 5 mit angeführten Entfernungen  $r_1$ , die sich vollkommen mit den von v. Seeliger abgeleiteten Grenzen decken, so daß wir also auch hier zu dem Schlusse geführt werden, daß im Grunde gar kein wesentlicher Unterschied besteht zwischen den Ergebnissen, zu denen die beiden Forscher auf ganz verschiedenen Wegen, aber unter Benutzung desselben Zahlenmaterials, gelangt sind. Die Ähnlichkeit geht aber noch sehr viel weiter, wenn man sich nun die Fig. 2 bis 5 ansieht, welche auf Grund der mitgeteilten Tabellen konstruiert sind. Sie stellen die Flächen gleicher Dichte dar. Der Einfachheit halber ist jeweils nur ein Quadrantenquerschnitt gezeichnet. Man hat sich die Figuren nach unten spiegelbildlich ergänzt und dann das Ganze um die vertikale Achse rotieren zu denken. Dann entsteht das räumliche Bild von der Dichteverteilung im Sternsystem. In Fig. 4 sind durch Kreuze die Stellen maximaler Dichte bezeichnet. Kapteyn betont, daß die von ihm angegebenen Formeln erst brauchbar sind jenseits dieser Entfernungen, so

daß also der Verlauf der Kurven innerhalb 30 Siriusweiten nicht verbürgt ist. Trägt man dem Rechnung, dann besteht zwischen Fig. 2 und Fig. 4 überhaupt kein Unterschied. Die Ähnlichkeit geht sogar so weit, daß sich bei beiden die Tendenz einer Aufbauchung der Kurven nach

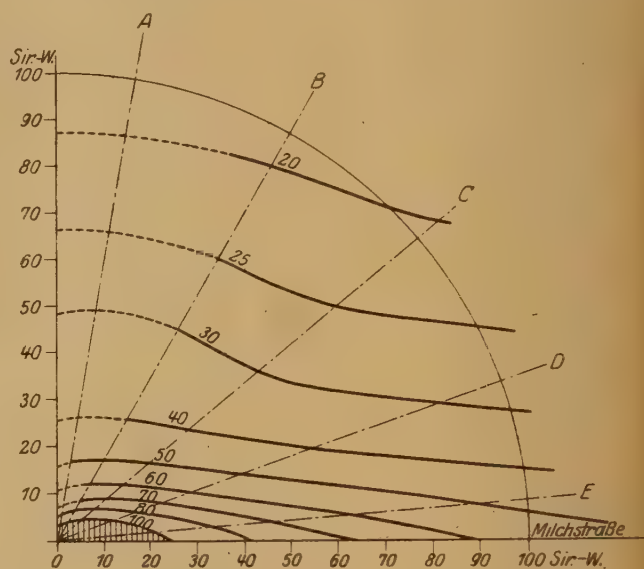


Fig. 2. Flächen gleicher Dichte im Sternsystem nach v. Seeliger. Schnitt senkrecht zur Milchstraße durch einen Quadranten bis zur Entfernung 100 Siriusweiten.

dem Pol der Milchstraße zu zeigt, der aber sicher keine reelle Bedeutung zukommt, die vielmehr durch die Unsicherheit des Zahlenmaterials erzeugt wird.

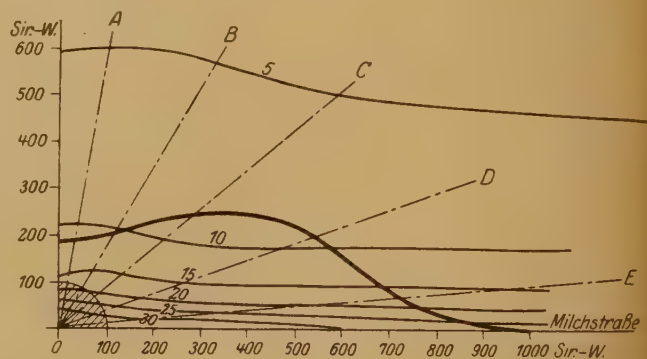


Fig. 3. Flächen gleicher Dichte und Grenze des Sternsystems nach v. Seeliger. Maßstab gegen Fig. 2 zehnmal verkleinert.

Den Verlauf der Flächen gleicher Dichte jenseits 100 Siriusweiten geben die im zehnmal verkleinerten Maßstab gezeichneten Figuren 3 und 5. Der schraffierte Kreis enthält jeweils die ganze Fig. 2 bzw. 4. Man sieht, wie die Flächen gleicher Dichte sich immer mehr parallel zur Milchstraße anordnen. In Fig. 3 ist die theoretisch sich ergebende Begrenzung des Systems eingezeichnet und es ist interessant zu bemerken, daß sie genau die gleiche charakteristische Einsenkung



am Pol der Milchstraße aufweist, wie sie *Kapteyn* für die weit außen (jenseits  $D = 5\%$ ) verlaufenden Flächen gleicher Dichte festgestellt hat. Daß unser „Sternsystem die Gestalt einer oben und unten leicht eingedrückten flachen Scheibe“ hat (*Newcomb-Engelmann* S. 755), folgt also aus

zur Verfügung stehenden Zahlenmaterials recht deutlich bemerkbar, so ist klar, daß dies noch mehr der Fall sein wird, wenn wir nun auch noch die letzte Idealisierung fallen lassen und die Sonne aus dem Mittelpunkt des Systems entfernen, d. h. wenn wir zu der Abhängigkeit der Dichte von der Entfernung und der galaktischen Breite nun auch noch die Abhängigkeit von der galaktischen Länge hinzunehmen, also  $D$  als Funktion der drei räumlichen Koordinaten bestimmen wollen. Die Untersuchungen darüber sind daher auch über gewisse Ansätze bis heute kaum hinausgekommen. Den theoretischen Weg, der zu verfolgen ist, hat *Charlier* gewiesen und für spezielle Gruppen von Sternen auch schon selbst zu gehen versucht. *Charlier* teilt den ganzen Himmel parallel und senkrecht zur Milchstraße in 48 Felder von je gleichem Flächeninhalt, so daß die Felder streng miteinander vergleichbar werden. Das Schema der Einteilung und Bezeichnung zeigt die obenstehende Fig. 6. Wäre man in der Lage, für jedes einzelne Feld die Rechnungen zu wiederholen, die wir in I für den ganzen Himmel, in II für die Zonen parallel zur Milchstraße mit-

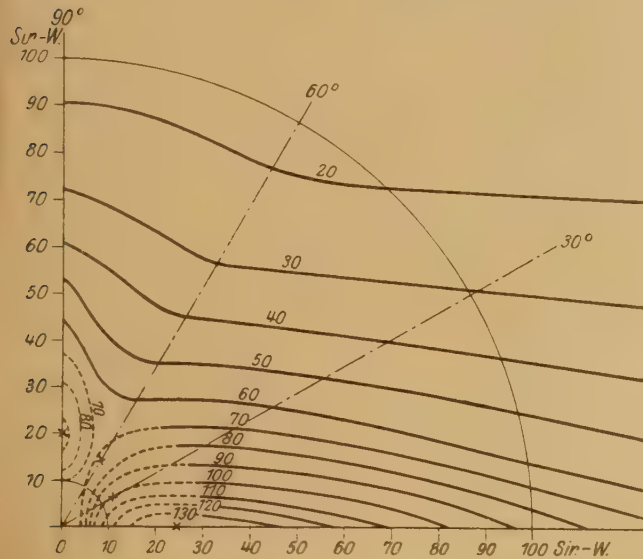


Fig. 4. Flächen gleicher Dichte im Sternsystem nach *Kapteyn* und *van Rhijn*. Schnitt senkrecht zur Milchstraße durch einen Quadranten bis zur Entfernung 100 Siriusweiten.

*v. Seeligers* Zahlen ebenso wie aus denen *Kapteyns*. Nur ist die große Frage, ob diese Einsenkung verbürgt ist. Wie aus allem bisherigen hervorgeht, ist die Unsicherheit der Rechnungen

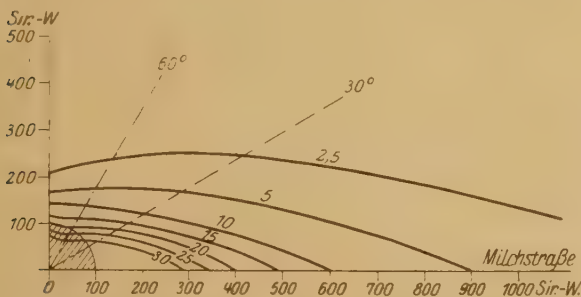


Fig. 5. Flächen gleicher Dichte im Sternsystem nach *Kapteyn* und *van Rhijn*. Maßstab gegen Fig. 4 zehnmal verkleinert.

gerade in hohen galaktischen Breiten außerordentlich groß, und es scheint, daß man den Einsenkungen in Fig. 3 und 5 ebensowenig Gewicht beilegen darf wie den Ausbuchtungen der Kurven in Fig. 2 und 4. Die Grenze des Systems bei *v. Seeliger* entspricht, wie man sich an den Figuren nun leicht überzeugen kann, ziemlich genau der Fläche  $D = 5$  bei *Kapteyn*.

### III. Das wirkliche Sternsystem.

Machte sich schon im letzten Abschnitt die Unsicherheit und Unvollkommenheit des uns heute

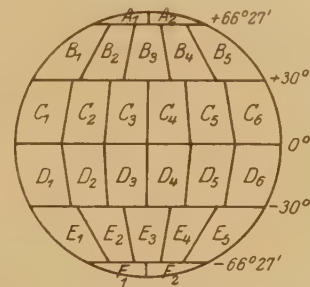


Fig. 6. Einteilung der Himmelskugel in 48 Felder gleichen Flächeninhaltes nach *Charlier*.

geteilt haben, dann wäre das Problem der Dichteverteilung wirklich gelöst. Wie gesagt, sind wir von diesem Ziel noch sehr, sehr weit entfernt. Es sei hier nur eines ganz kürzlich von *Pannekoek*<sup>7)</sup> unternommenen Versuches gedacht, der sich in der Methode an die von *Schwarzschild* entwickelte und von *Kapteyn* benutzte anlehnt. *Pannekoek* betrachtet die Milchstraßenzone zwischen  $\pm 20^\circ$  Breite und teilt diese in 12 Sektoren von je  $30^\circ$  Länge. Das Ergebnis seiner Untersuchungen ist die untenstehende Fig. 7. Die Dichten sind dabei wieder prozentual ausgedrückt, die Entfernungen in Siriusweiten umgerechnet. Im Gegensatz zu den Fig. 2 bis 5, welche Schnitte senkrecht zur Ebene der Milchstraße darstellten, haben wir es hier mit einem Schnitt in der Ebene der Milchstraße selbst zu tun. Im typischen System wären diese Schnitte durch die Flächen gleicher Dichte lauter konzentrische Kreise um den Mittelpunkt. Der in die Fig. 7 eingezeichnete Kreis mit dem Radius 100 Siriusweiten um-

7) Siehe Referat: „Die Naturwissenschaften“ 1922, S. 120.

schließt den den Fig. 2 und 4 entsprechenden Bereich. Man erkennt sehr deutlich die Abweichungen der Kurven von der Kreisgestalt und findet auch hier die Tatsache bestätigt, daß die Sonne — Mittelpunkt der Fig. 7 — etwas abseits vom Zentrum des Systems, d. i. der Stelle maximaler Dichte, sich befindet. Man braucht kaum zu betonen, daß natürlich die Einzelheiten der Zeichnung, d. h. die größeren oder kleineren Einbuchtungen, nicht unbedingt verbürgt sind. Das Bild stimmt nur in den groben Zügen und ist von geringerer Sicherheit als die Bilder des typischen Systems, die wir oben mitteilten. Immerhin ist es ein wertvoller Schritt in Richtung einer künftigen

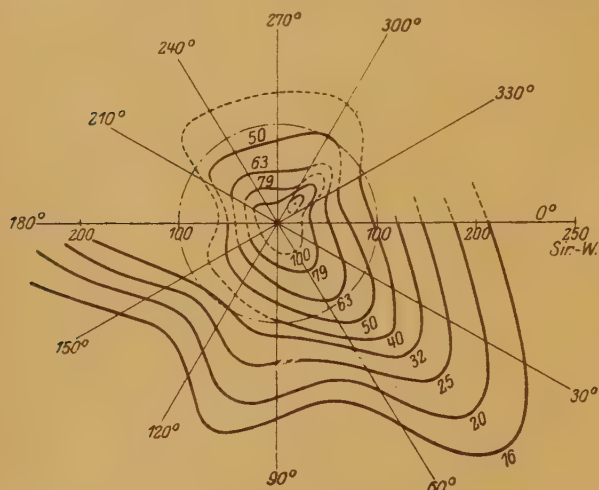


Fig. 7. Flächen gleicher Dichte im Sternsystem nach Pannkoek. Schnitt in der Milchstraßenebene.

Ausgestaltung des Bildes des Sternsystems und eine nicht unbedeutende Ergänzung des oben Mitgeteilten.

Die Bezeichnung „wirkliches“ Sternsystem ruft aber noch einen ganz anderen Komplex von Fragen hervor: inwieweit gehören die unseren Instrumenten zugänglichen Objekte des Himmels, also neben den Sternen aller Größenklassen vor allem die Sternhaufen und Nebelflecke, zu dem Sternsystem, wie wir es bisher betrachteten? Umschließen die Grenzen, die wir für das System angaben, die ganze Fülle des zu Schauenden oder haben wir damit nur einen Teil eines größeren Ganzen beschrieben? Pannkoek betitelte seine Arbeit mit „The local starsystem“ und Kopff hat die Leserkänge *Shapleys*, der die kugelförmigen Sternhaufen als dem „local cluster“ koordinierte Systeme betrachtet, letzteren als Objekt und Ergebnis der besprochenen Arbeiten *Seeligers* *Schwarzschilds* usw. ansehend. In geistreicher Form findet man das Problem erneut behandelt von *Charlier*, über dessen Arbeit „How an infinite world may be built up“ *Bernheimer* an dieser Stelle Aufschluß gegeben hat<sup>8)</sup>. Es er-

scheint mir im Augenblick nicht möglich, in dem Für und Wider der Meinungen einen durch exakte Beobachtungsgrundlagen zu stützenden Standpunkt zu vertreten. Hier spielt zu viel Hypothetisches herein, was die Zukunft ebenso wohl als kühnen Weitblick des Genies bestätigen wie als Verirrung zweifelhafter Spekulation widerlegen kann. Verzichten wir auf eine Entscheidung dieser Fragen, dann lassen sich über das Sternsystem folgende, in der Hauptsache auf den Abzählungen der Sterne nach ihrer scheinbaren Größe beruhenden Aussagen machen:

1. Die Sonne steht sehr nahe dem Mittelpunkt des Systems, wenn man als letzteren die Stelle größter Dichte betrachtet, von der aus die Dichte allseitig nach außen hin abnimmt. Der Abstand mag zwischen 10 und 20 Siriusweiten (50 bis 100 parsec) betragen.
2. Der Absolutwert der Dichte läßt sich nur mit großer Unsicherheit bestimmen. Für das Zentrum des Systems schwanken die von den einzelnen Forschern angegebenen Werte zwischen etwa 5 (*Kapteyn*) und 700 (*Schwarzschild*) Sternen pro Kubiksiriusweite. Der wahrscheinlichste Wert dürfte von der Größenordnung 10 oder 20 sein. Die Gesamtanzahl der Sterne beträgt zwischen 1 und 10 Milliarden.
3. Die verschiedenen Formen der Dichtefunktion sind ziemlich gleichwertig, wenn man von dem Verlauf innerhalb 10 Sir.-W. = 50 parsec absieht. Sie führen im Mittel in einer Entfernung von 500 Sir.-W. = 2500 parsec auf Dichten von nur noch 5–10 % der Dichte im Zentrum.
4. Die Abnahme der Dichte nach außen erfolgt in der Richtung der Milchstraße sehr viel langsamer als nach den Polen der Milchstraße zu. Das System erstreckt sich daher bei *v. Seeliger* in der ersten Richtung bis zu etwa 700–1000 Siriusweiten (3500–5000 parsec), in der dazu senkrechten Richtung nur bis etwa 200 Siriusweiten (1000 parsec). Diese von *v. Seeliger* angegebene Begrenzung des Systems ist identisch mit der Fläche  $D = 5$  (% der zentralen Dichte) bei *Kapteyn*.
5. Der äußere Anblick des Systems ergibt sich übereinstimmend als flach linsenförmig mit etwa 5facher Ausdehnung in der Ebene der Milchstraße gegenüber der Richtung senkrecht dazu. Ob die, ebenfalls bei *v. Seeliger* sowohl als auch bei *Kapteyn* angedeutete Eindrücke in polarer Richtung reell oder nur der Ungenauigkeit des Beobachtungsmaterials zuzuschreiben ist, läßt sich gegenwärtig nicht entscheiden, da der Verlauf der Dichtekurven in dieser Richtung jenseits 100 Siriusweiten (500 parsec) nur durch formelmäßige Extrapolation zu gewinnen ist.

<sup>8)</sup> S. 481 dieses Jahrgangs.



## Über die Lebensweise und das Aussterben der Ammoniten.

Von S. von Bubnoff, Breslau<sup>1)</sup>.

Von allen fossil bekannten niederen Tiergruppen spielen die Ammoniten mit die größte Rolle. Ihre zum Teil weltweite Verbreitung, bei geringer Lebensdauer einzelner Arten, sichern ihnen eine hervorragende Bedeutung als Leitfossilien, d. h. als Organismen, deren Fund die relative Altersbestimmung und die Parallelisierung der sie enthaltenden Schichten ermöglicht.

Trotzdem nun aber die Ammoniten zu den häufigsten fossilen Resten gehören und in ungeheurer Anzahl bekannt und beschrieben sind, geben sie uns noch heute eine Anzahl ungelöster Rätsel auf. Diese Rätsel betreffen vor allem ihre Lebensweise und ihr plötzliches Verschwinden an der Grenze der Kreide- und Tertiärzeit. Das Bestehen dieser ungelösten Fragen ist dadurch zu erklären, daß wir über die innere Organisation dieser ausgestorbenen Tiere so gut wie nichts direkt wissen. Der einzige lebende Vertreter — *Nautilus* — weicht auch in seinen Hartteilen so erheblich von den typischen Ammonitenschalen ab, daß er nicht als vollgültiges Vergleichsobjekt in bezug auf Anatomie und Lebensweise gelten kann. Über die beiden Probleme ist sehr viel geschrieben worden und die Ansichten gehen noch vielfach stark auseinander; es scheint mir aber, daß sie eine zwanglose Aufklärung erhalten, wenn man beide Fragen in Beziehung zueinander und zur geologischen Entwicklung der Meere der Vorzeit setzt. Das will ich im folgenden kurz erläutern und mich dabei auf meistens schon bekannte Tatsachen stützen, die ich nur neu zu gruppieren suche.

### Die Lebensweise.

Das Hauptmerkmal der Ammoniten ist eine meist symmetrisch-spiral eingerollte Schale, mit in regelmäßigen Abständen stehenden Außenwänden; das Tier selber lebte nur in der letzten Kammer (Wohnkammer), die hinteren waren gegen die Außenwelt luftdicht verschlossen. Soweit deckt sich die Beschreibung mit der der heutigen Nautilusschale. Man ist sich auch im allgemeinen klar darüber, daß den mit Luft oder Gas gefüllten Kammern die Rolle eines hydrostatischen Apparates zukommt, welcher den Auftrieb, das Aufsteigen des Tieres im Meerwasser,

also das Schwimmen, ermöglicht. Es wäre aber falsch, daraus den Schluß zu ziehen, daß alle eine Spiralschale tragenden Cephalopoden gute Schwimmer gewesen sind. Gerade die fortschreitende Kenntnis vom *Nautilus* hat uns hier Überraschungen gebracht; zwar besitzt er anscheinend die Fähigkeit, an die Meeresoberfläche aufzusteigen, leben tut er aber meist gesellig auf dem Grunde des Meeres, in etwa 100 m Tiefe und gehört damit eher dem Benthos, als dem Plankton oder Nekton an<sup>2)</sup>. Seine mehr gedrungene, rundliche Schale ohne Verzierungen läßt sich ferner nur mit einigen, nicht mal allzu häufigen und jedenfalls primitiven Ammoniten vergleichen. Für diese kann man eine schwimmende Lebensweise auch ohne weiteres annehmen, wenn man hierbei auch wohl mehr an ein Schweben und an passive Verfrachtung durch Strömungen denken muß, als an aktive Schwimmbewegungen.

Ganz ausgeschlossen erscheint ein Schwimmen für die abnormen Ammonitenformen, die entweder gerade gestreckt (*Baculites*) oder hakenartig gekrümmt (*Crioceras*) oder schneckenförmig aufgerollt (*Turritiles*) sind. Hier kommt ein Schwimmen überhaupt kaum in Frage; die Tiere müssen am Boden gekrochen sein. Sie sind nicht häufig, treten aber oft unter sehr bezeichnenden Nebenumständen auf, auf die ich noch zu sprechen komme.

Daneben gibt es vor allem zwei Typen der Schale, welche bei den Ammoniten vorherrschen: 1. eine flache Scheibenform, wobei die Schale häufig mit Rippen, Knoten, Dornen, Stacheln usw. versehen ist; 2. eine Linsenform mit mehr oder weniger zugespitztem Außenrand und wenig ausgeprägter Skulptur. Es ist kaum anzunehmen, daß allen diesen Typen die gleiche Lebensweise zukam.

Wenn den Formen mit scharfem Außenrand eben durch diesen „Kiel“ eine schnellere aktive Fortbewegung ermöglicht wurde, so ist das für die scheibenförmigen Schalen weniger wahrscheinlich. Hier muß man eher an ein Leben auf dem Grunde denken, wofür verschiedene Überlegungen sprechen. So beobachtet man manchmal in Triaskalken der Ostalpen, daß solche scheibenförmigen Ammoniten mit ihrer Flachseite nicht parallel der Schichtfläche, d. h. dem Meeresboden, liegen, sondern kreuz und quer dazu, daß sie also im Schlamm des Bodens gesteckt haben müssen, denn bei Annahme einer schwimmenden Lebensweise müßten die Tiere beim Absterben stets mit der Breitseite auf den Boden gesunken sein. Da gerade bei solchen Formen oft am Ende des Wachstums eine Ausrollung der Spirale, also eine Annäherung an die erwähnten abnormen Formen eintritt, so wird für sie eine kriechende, ja vielleicht wühlende Lebensweise durchaus wahrscheinlich. Dabei ist

<sup>1)</sup> Die sehr reichliche Literatur über diesen Gegenstand kann hier nicht zitiert werden. Pompecky, Frech, Steinmann, Diener, Scupin, Deecke, Jacckel u. a. haben dem Gegenstand wichtige Erörterungen gewidmet. Über die Lebensweise brachte Dacqué neuerdings eine zusammenfassende Darstellung in seinem schönen Buche: die vergleichende biologische Formenkunde der fossilen niederen Tiere (Berlin, Bornträger 1922), die sich in manchem mit den hier vorgebrachten Anschauungen deckt. Ich verdanke meine Ansichten über den Gegenstand einer Bearbeitung von Triasammoniten und einem Kolleg im Winter 1921/22.

<sup>2)</sup> Das Benthos ist der bodenbewohnende, das Plankton der schwimmend treibende, das Nekton der aktiv schwimmende Teil der Meeresfauna.

noch ein anderer Gesichtspunkt zu berücksichtigen: gerade in der Trias treten die scheibenförmigen Schalen oft massenhaft, aber lokal begrenzt auf, während die „linsenförmigen“ oder die kugeligen eine zuweilen weltweite Verbreitung ohne lokale Anhäufung besitzen. Auch das legt den Schluß nahe, daß bei den ersten eine Fortbewegung erschwert war. Hierzu muß aber eine Einschränkung gemacht werden. Die Lebensweise kann im Laufe der Entwicklung stark gewechselt haben; so zeigen auch viele Scheibenformen rundliche, kugelige Anfangsstadien. Es wäre also durchaus möglich, daß sie in der Jugend schwebend oder schwimmend gelebt haben und erst später zur kriechenden Lebensweise übergingen. Daraus würde sich auch ihre weite Verbreitung erklären.

Es muß nun die Frage erläutert werden, wozu denn bei den kriechenden Formen der hydrostatische Apparat gedient hat. Die Antwort ist m. E. sehr einfach: Ohne ein direktes Schwimmen zu ermöglichen, verschaffte dieser Apparat doch einen gewissen Auftrieb, d. h. er erleichterte das Körpergewicht und ermöglichte eine Bewegung. Die Tiere konnten mit seiner Hilfe über den Boden hinstreichen, ohne aber sich ganz davon abzulösen. Es ist daraus ersichtlich, daß solche Ammoniten an bestimmte Meerestiefen gebunden sein mußten: stieg der Meeresboden, so wurde der Schalenauftrieb geringer, das Tier wurde „schwerer“, sank er, so mußte das Tier die Schale beschweren, um nicht hinaufgetrieben zu werden. Wenn also das Tier sonst an einen bestimmten Lebens- und Nährbezirk angepaßt war, so mußte es versuchen, seinen hydrostatischen Apparat so zu regulieren, daß es nicht in ungünstigere Lebensverhältnisse getrieben wurde. Weite Meeresböden von gleichbleibender, nicht zu großer Tiefe lieferten daher das Optimum der Lebensbedingungen für die Ammoniten, soweit sie nicht ganz freischwimmend waren. Wir hätten also die Haupttypen zu unterscheiden:

- Kugelige Formen, glatt, oder schwach verziert, passiv schwebend;
- außen zugespitzte, linsenförmige Typen, schwach verziert, aktiv schwimmend;
- Scheibenformen, meist stark verziert, halb schwebend, halb kriechend.

#### *Die geologische Verbreitung.*

Man kann nun zeigen, daß diese Annahme mit der Geschichte und Verbreitung des Ammonitenstamms sehr gut übereinstimmt.

Der Ammonitenstamm als Ganzes entwickelt sich zweifellos im Paläozoikum aus nautilusähnlichen Vorfahren. Abgesehen von einigen abnorm gebauten Seitenzweigen, die sich schnell spezialisieren und im Obersilur schon aussterben, gehen hier als erste große Gruppe die devonischen Goniatiten hervor. Kugelige oder dick-scheibenförmige Gestalt bei wenig verzierter Schale herrscht vor; die Formen sind weltweit ver-

breitet. Es ist bezeichnend, daß gerade die primitiven Nautiliden mit ähnlichen Schalenmerkmalen bis heute weiterleben, wogegen alle übrigen ausgestorben sind. Man muß festhalten, daß die Entwicklung von solchen, nach unserer Annahme wohl frei schwebenden, mit hinreichendem Auftrieb versehenen Formen ausgegangen ist.

Das Ende des Paläozoikums war für den Stamm eine verhängnisvolle Zeit. In Mitteleuropa begann eine intensive Gebirgsbildung, infolge deren sich das Meer nach Süden zurückzog, wo sich dann das große zentrale Mittelmeer — die Thetys — entwickelte. Die Ammoniten verschwinden aus Mitteleuropa und werden später durch ganz neue Typen ersetzt. Zwischen den Formen des Carbons, des Perms und der Trias kann höchstens in dem südlichen Mittelmeer eine gewisse Kontinuität aufgezeigt werden, die aber auch nur sehr wenige Formen betrifft. Die Umprägung der geographischen Verhältnisse führte also teilweise, und zwar vorherrschend, zu einem Verschwinden des bestehenden Formenkomplexes, teilweise zu einer Umprägung der Organisation.

In der Trias beginnt die Entwicklung gleichsam von neuem und geht dabei von dem zentralen Mittelmeer aus; von diesem gelangen nur Ableger in das seichtere mitteleuropäische Triasmeer, passen sich hier manchmal recht gut an, verschwinden aber dann mit den sich ändernden Bedingungen wieder spurlos. Wichtiger und bedeutsamer ist die Entwicklung im zentralen Mittelmeer selbst, wo der Stamm ungeheuer reich aufblüht. Dabei bleiben die primitiveren, kugeligen, unverzierten Formen in der Minderzahl. Es ist durchaus verständlich, daß die Ernährungsbedingungen am Meeresboden günstiger waren, als in der offenen See, daß also die Ammoniten zum Benthos übergingen, was durch eine Beschwerung der Schale, des hydrostatischen Apparates erreicht wurde. So entwickelte sich das reich verzierte, oft aber deutlich lokal angepaßte Heer der Triasammoniten. Diese Entwicklung bedeutete aber eine Preisgabe der freien vertikalen Bewegungsmöglichkeit. Sie war so lange günstig, als die Verhältnisse des Triasmeeres gleichblieben. Nun entwickelt sich aber die Thetys in der Trias immer mehr zu dem, was ihrer späteren Geschichte den Weg vorschreibt — zu einem Geosynklinealmeer —, aus dem dann, im Tertiär, ein Faltengebirge aufsteigt. Sie wird ein unruhiger Streifen der Erdoberfläche, mit Hebungen und Senkungen des Meeresbodens. Diesen Schwankungen gegenüber aber waren die Ammoniten, nach vollzogenem Übergang zum Bodenleben, wenig widerstandsfähig. Durch starke Variation, durch abweichende Aufrollung (*Cochloceras*) versuchten sie sich den neuen wechselnden Bedingungen anzupassen; der eingeschlagene Entwicklungsweg war aber nicht rückgängig zu machen und die Mehrzahl war, nach erneuten Anpassungsversuchen, dem Untergange geweiht, eben weil die stetig wechselnden



Tiefenverhältnisse keine unbegrenzte Einstellung des hydrostatischen Apparates zuließen. So erscheint die Trias-Jura-Grenze wieder als wichtiger Abschnitt in der Geschichte der Ammoniten. Das seichte mitteleuropäische Meer trocknete aus, die Thetys lieferte keine so günstigen Bedingungen für die Weiterentwicklung. Die Ammonitenfauna des Jura bildet also wieder etwas Neues, wobei zwei Tatsachen sehr bedeutsam sind: 1. die günstigsten Lebensbedingungen bietet jetzt wiederum das nicht sehr tiefe, gleichmäßige Meer Mitteleuropas, welches außerhalb des unruhigen Geosynklinalgebietes lag; in diesem selbst ist gegenüber der Trias ein Rückgang zu verspüren. 2. Die neue Fauna ist nur durch einige wenig spezialisierte Formen (*Phylloceras*, *Lytoceras*) mit der älteren Zeit verbunden und diese gehen wiederum vom Mittelmeerbezirk aus, sind also von hier, auf der Suche nach besseren Lebensbedingungen, in ruhigere flache Meere ausgewandert. Hier entwickelt sich nun die üppige Blüte der Juraammoniten, wobei wieder besonders die kugeligen Formen (*Stephanoceras*, *Macrocephalites*) eine weite horizontale Verbreitung erlangen. Gegenüber diesem Reichtum ist die Entwicklung im Mittelmeer, zum mindesten in Europa, direkt ärmlich.

Nördlich davon haben während des Jura die Verhältnisse im Meer langsam und recht stetig gewechselt und entsprechend hat hier auch der Ammonitenstamm eine ziemlich gut verfolgbare, kontinuierliche Entwicklung erfahren. Die Gattungen lösen sich hier schrittweise ab, gegenseitig in ihren vertikalen Verbreitzungsbezirk eingreifend.

Diese Kontinuität ist an der Grenze der Kreidezeit wieder zu Ende, vor allem dort, wo diese Periode mit einem starken Zurücktreten des Meeres beginnt (Purbeckstufe des oberen Jura, Wälderstufe der unteren Kreide, beides Süßwasserablagerungen in Mitteleuropa). Nur wo eine Kontinuität der Ablagerungen vorhanden ist, leben die Ammoniten weiter (Tithon der Alpen, Wolgastufe Rußlands). Im übrigen findet wieder ein Aussterben und eine Umprägung statt, wobei die Kreidefauna bezeichnenderweise wieder auf die primitive Gattung *Lytoceras* zurückgeht.

Die Entwicklung in der Kreide ist nun außerordentlich auffallend. Wie im Jura, ist auch hier das zentrale Mittelmeer, die sich nun immer schärfer ausprägende unruhige Geosynklinalen, der Entwicklung der Ammoniten wenig günstig. Ihre Hauptblüte entsteht außerhalb derselben. Aber auch hier haben sich die Verhältnisse geändert; wir wissen heute, daß auch in Mitteleuropa die Kreide eine Zeit recht lebhafter Bodenbewegungen gewesen ist. Die Tiefe und Konfiguration des Meeres muß also erheblich gewechselt haben. Darauf reagieren die Ammoniten sofort durch eine direkt krankhafte Variabilität: Ausgerollte Nebenformen, abnorm stark verzierte

Arten, Riesenformen, sekundär vereinfachte Vertreter treten uns hier in einer Vielgestaltigkeit gegenüber, wie sie selbst in diesem formenreichen Stamm einzig darsteht. Man hat gleichsam den Eindruck, als wäre der Stamm infolge der stets wechselnden Tiefenverhältnisse nervös geworden und als hätte er durch stärkste Variabilität versucht, sich günstige Lebensbedingungen zu erhalten. Wo sich der Boden hob, wo die Schalen zu „schwer“ wurden, mochte eine Vereinfachung des hydrostatischen Apparates, Schutzvorrichtungen gegen Einsinken in Form von Dornen, Stacheln usw., ausgebildet werden. Wo der Boden sich senkte, kann eine stärkere Verzierung, eine Vergrößerung und Vergröberung des Gehäuses den notwendigen Tiefgang wieder ermöglichen haben. Das ging natürlich nur bis zu einem gewissem Grade, denn keine Entwicklung ist rückgängig zu machen; zu den ursprünglichen kugeligen, freischwimmenden Formen war die Rückkehr verbaut. Trat jetzt eine grundlegende Änderung der Lebensbedingungen ein, so war die ganze reiche, hochspezialisierte Fauna dem Untergang verfallen. Das geschah nun an der Grenze von Kreide und Tertiär, wo die Bildung der alpinen Gebirge einsetzte. Den neuen Tiefenverhältnissen konnten die Ammoniten eben wegen ihrer präzisen Einstellung auf bestimmte Tiefen nicht folgen — sie starben aus.

#### Das Aussterben.

Ich glaube, daß das vielbesprochene Problem des Aussterbens der Ammoniten sich auf diesem Wege glatt auflösen läßt. Man hat versucht zu zeigen, daß die Ammoniten gar nicht ausgestorben sind, daß sie an der Grenze von Kreide und Tertiär nur schalenlos und daher nicht erhaltungsfähig wurden. Die sehr gut entwickelten Schalen der Kreidezeit sprechen stark gegen diese Ansicht, die auch nicht viel Anklang gefunden hat.

Die vorgebrachte Ansicht gründet sich vor allem auf die Verhältnisse in Europa. Sie dürfte aber durch die Berücksichtigung anderer Länder kaum widerlegt werden. In der Tat sind die großen gebirgsbildenden Prozesse, die großen Bewegungen des Meeres weltweit verbreitete Erscheinungen. Die carbonische und tertiäre Gebirgsbildung vor allem, welche die verhängnisvollsten Etappen in der Geschichte der Ammoniten darstellen, sind über die ganze Erde verbreitet. Auch die Tendenz dieser Prozesse ist die gleiche: Weite und gleichmäßige Meere nehmen immer mehr an Größe ab, bis im Tertiär die Sonderung in Gebirge und Tiefsee den höchsten Grad erreicht und die seichten Schelfmeere zu schmalen, den Kontinent begleitenden Ufergürteln werden.

Gerade das war aber für die Ammoniten außerordentlich ungünstig.

Ich habe versucht, zu zeigen, daß der Stamm von glatten, kugeligen, freischwimmenden Formen ausgeht. Die nächste Etappe war eine Besiede-

lung der seichten Meeresgründe, die bessere Ernährungsbedingungen boten.

Damit ging eine Ausbildung des hydrostatischen Apparates Hand in Hand, der natürlich nicht auf alle, sondern nur auf ein bestimmtes Druckverhältnis eingestellt werden konnte. Die Ammoniten wurden nicht sowohl zu bezeichnenden Fossilien einer bestimmten Gesteinsbildung, als zu solchen einer bestimmten Tiefe. Es liegt auf der Hand, daß ihnen nun die flachen, weiten Schelfmeere der mesozoischen Zeit ein Optimum der Lebensbedingungen sicherten. Wenn die Tiefenverhältnisse wechselten, konnten die Ammoniten sich bis zu einem gewissen Grade anpassen; wurden die Verhältnisse zu unbeständig, so starben sie aus. Insofern hat also ein teilweises Aussterben mehrfach stattgehabt, aber erst an der Grenze von Kreide und Tertiär wurden die Bedingungen so ungünstig, daß eine Rettung nicht mehr möglich war. Die seichten Ufergürtel kamen für den Stamm weniger in Frage, denn die zartbeschalteten Tiere haben bewegtes Wasser und Brandung von jeher gemieden. Hier waren sie gegenüber den Schnecken im Nachteil, welchen die Eroberung der Flachsee und von dort aus des Süßwassers und des Landes viel besser gelang. Es ist aber bezeichnend, daß die gleiche Tendenz in der Formenentwicklung der Schale auch den Schnecken innewohnt. Auch bei ihnen sehen wir in der Altzeit symmetrische, kugelige, freischwimmende Gehäuse (*Bellerophon*); sie gehen aber bald zu der in zwei Ebenen aufgerollten Spirale über und erobern sich dadurch entschlossen den Ufergürtel. Die Ammoniten haben mehrfach Ansätze zu einer gleichen Entwicklung gemacht (*Cochloceras*-Trias, *Turrilites*-Kreide), die aber stets fehlschlagen, eben weil die bewegte Brandungszone ihrer allgemeinen Organisation ungünstig war. Der Ufergürtel blieb ihnen versperert, die Tiefsee bot keine genügenden Ernährungsaussichten, von dem offenen Meer hatten sie sich selbst, bis vielleicht auf die primitiven Nautiliden, losgesagt, Ihr Lebensbezirk — das seichte Schelfmeer — schrumpfte aber immer weiter zusammen und war mit der tertiären Gebirgsbildung verschwunden.

Berücksichtigt man also die durch den hydrostatischen Apparat hervorgebrachte Einstellung auf bestimmte Tiefen, und setzt diese mit der geologischen Entwicklung des Meeres und mit den gebirgsbildenden Zeiten in Beziehung, so scheint mir weder die mehrfach unterbrochene Entwicklung noch das endgültige Aussterben der Ammoniten dem Verständnis unüberwindliche Schwierigkeiten zu bereiten. Lebensweise, Variabilität, Aussterben und geologische Geschichte des Lebensbezirkes bilden einen zusammenhängenden Fragenkomplex, dessen einzelne Elemente nur in ihrer gegenseitigen Bedingtheit zu verstehen sind.

## Besprechungen.

Charlier, C. V. L., Vorlesungen über die Grundzüge der mathematischen Statistik. Lund. Verlag Scientia, 125 S.

Die mathematische Statistik stellt sich die Aufgabe, die statistischen Reihen, wie sie uns in der Erfahrung entgegentreten (z. B. die Knabengeburten in jedem Monat), auf die einfachen statistischen Reihen, wie sie bei den willkürlich konstruierten Glücksspielen (Ziehen von Kugeln) vorkommen, zurückzuführen. Die Ableitung komplizierterer Reihen aus den einfachsten ist ein mathematisches Problem, das in der Wahrscheinlichkeitsrechnung seine systematische Behandlung gefunden hat. Ähnlich wie etwa die technische Mechanik diejenigen nach dem Schema der reinen Mechanik möglichen Bewegungen untersucht, die den in der Erfahrung gegebenen nahekommen, so behandelt die mathematische Statistik diejenigen unter den von der Wahrscheinlichkeitsrechnung aus den einfachsten abgeleiteten statistischen Reihen, durch die sich die empirischen Reihen möglichst gut wiedergeben lassen.

In dem vorliegenden Buch setzt nun der Verf., von dem auch das bekannte Lehrbuch der Himmelsmechanik herrührt, sich zum Ziel, die mathematische Statistik für diejenigen, der sie anzuwenden hat, also etwa den Nationalökonom, Biologen, Meteorologen, darzustellen. Die mathematische Theorie, zu der Charlier auch selbst in mehreren Arbeiten beigetragen hat, wird hier nur in ihren Ergebnissen vorgeführt. Es wird mitgeteilt, welche Reihen die Wahrscheinlichkeitsrechnung herstellt, und dann die empirischen Reihen untersucht, inwiefern sie in dieses Schema passen.

Der Verf. unterscheidet bei den empirischen Reihen homograde, bei denen nur angegeben ist, wieviele Individuen eine gewisse Eigenschaft besitzen, die aber keiner Grade (Abstufungen) fähig ist, und heterograde Reihen, wo angegeben ist, wieviele Individuen jeden Grad irgendeiner Eigenschaft besitzen. Zu der ersten gehört etwa die Reihe der Knabengeburten, zu der letzteren Art die Anzahl der Rekruten bestimmter Körperlänge.

An jeder Reihe sind gewisse kennzeichnende Zahlen (Charakteristiken) bemerkenswert. Diese sind zunächst das arithmetische Mittel der Reihenglieder, dem der Verf. aus Gründen der internationalen Verständlichkeit den Namen Medium gibt, und die Dispersion (Streuung), das mittlere Abweichungsquadrat vom Mittel. Die einfachste wahrscheinlichkeitstheoretische Reihe, mit der eine empirische verglichen werden kann, ist die folgende: Wenn ich  $N$  Versuche ausführe, und bei jedem besteht die gleiche Wahrscheinlichkeit  $p$  dafür, daß ein bestimmtes Ereignis eintritt, so kann ich die Wahrscheinlichkeit berechnen, daß dieses Ereignis im Laufe der  $n$  Versuche einmal, zweimal,  $m$ -mal eintritt; die Zahlen  $n_1, n_2, \dots$  bilden die einfachste theoretische statistische Reihe. Ihre theoretische Dispersion ist  $\sqrt{Np(1-p)}$ . Vergleicht man eine natürliche statistische Reihe, so findet man meist, daß ihre Dispersion größer (übernormal) ist. Der Verf. zeigt im Anschluß an Lexis, daß sich diese Reihen durch theoretische Reihen darstellen lassen, bei denen die Wahrscheinlichkeit nicht bei jedem Versuch dieselbe war. Die genannte einfachste Reihe führt für zahlreiche Versuche schließlich zur Gaußschen Verteilung; eine solche ist durch Medium und Dispersion eindeutig bestimmt. Doch zeigt sich, daß nicht jede statistische



Reihe sich durch eine Gaußsche darstellen läßt. Der Verfasser berichtet über drei Typen theoretischer Reihen, denen alle empirischen sich anschließen. Die erste ist eine Reihenentwicklung nach der Gaußschen Verteilung und deren Ableitungen, die zweite eine Entwicklung nach dem theoretischen Gesetz für die Wahrscheinlichkeit seltener Ereignisse und deren Differenzen. Schließlich berichtet der Verfasser über die Korrelationstheorie, die sich damit beschäftigt, Kriterien dafür aufzustellen, ob zwei statistische Reihen voneinander abhängig sind.

Überall sind die Resultate so formuliert, daß der Praktiker sie unmittelbar anwenden kann, überall sind Schemata zur übersichtlichen Anwendung der Rechnung und Tabellen beigegeben.

Philipp Frank, Prag.

**Strömgren, Ellis, Astronomische Miniaturen.** Aus dem Schwedischen<sup>1)</sup> übersetzt von K. F. Bottlinger. Berlin, Julius Springer, 1922. VIII, 88 S. und 14 Abbildungen. Preis M. 36.—

Dieses, nunmehr in deutscher Übertragung vorliegende, Büchlein ist der Versuch eines führenden Fachmannes, moderne astronomische Erkenntnisse einem sehr weit gezogenen Leserkreise zu vermitteln und in ihm die Lust nach näherer Beschäftigung mit diesem Gegenstande zu erwecken. Es ist kein Lehrbuch, keine Miniaturastronomie für Laien, sondern wie schon der Titel andeutet, eine Sammlung kleiner Skizzen, die in keinem oder nur losem Zusammenhange miteinander stehen. Gleichwie Miniaturen der schönen Künste erscheinen auch sie anspruchslos und sind mit einer liebevollen, anmutigen Detailarbeit gezeichnet. Die Entstehung des Büchleins aus Vorträgen und kleineren Aufsätzen führt natürlich eine gewisse Verschiedenheit in der Behandlung der einzelnen Gebiete mit sich, wie andererseits auch die Themen selbst von unterschiedlicher Bedeutung sind. So erscheint neben einem Kapitel über die Begriffe der modernen Stellarastronomie eine harmlose Plauderei über eine einfache Bestimmung der Wochentage. Zweifellos liegt darin eine gewisse Absicht des Verfassers, die ihm mancher Leser danken wird.

Das Büchlein beginnt zur Einführung mit schönen Gedanken über die Stellung des Menschen im Weltall. Es folgt ein längerer Abschnitt mit einer Reihe von Abbildungen und Figuren über Natur und Ursprung der Kometen und ihre Bahnen. Hier ist Strömgren ein Führer wie kein anderer, verdanken wir doch seinen durchgreifenden Untersuchungen die wichtige gesicherte Erkenntnis, daß alle bekannten Kometen, entgegen früherer Anschauung, unserem Sonnensysteme angehören. Nahezu ein Drittel des Büchleins nehmen zwei Aufsätze über die Begriffe der modernen Stellarastronomie ein<sup>2)</sup>. Man kann sie ruhig als ein Meisterwerk und Vorbild populärer Darstellungskunst bezeichnen. Scheinbare und absolute Helligkeit der Sterne, ihr Spektrum und Radialgeschwindigkeit, Entfernungen und Eigenbewegungen werden besprochen, gezeigt, wie sie ermittelt werden und die gegenseitigen Beziehungen dargelegt. In dankenswerter Weise sind durch Abbildung und Tafel auch unsere heutigen Kenntnisse der Verhältnisse in der nächsten Umgebung der Sonne erläutert. Der Physik der Sonne ist ein eigenes Kapitel gewidmet. Es ist Strömgren gelungen, die letzten Errungenschaften in der Astronomie, nämlich die Messung der Fixsterndurchmesser nach der

Methode von Michelson in klarer, leichtfaßlicher Form auf wenigen Seiten auseinanderzusetzen und so einem größeren Leserkreis zugänglich zu machen. Das gleiche gilt von den bedeutsamen Untersuchungen Eddingtons über den inneren Aufbau und die Entwicklungsgeschichte der Sterne. Strömgren gibt davon eine lichtvolle, volkstümliche Darstellung, die jeder mit Genuß lesen wird. (In dem Beispiel Eddingtons auf S. 83 des Büchleins ergibt sich durch einen inzwischen aufgedeckten Rechenfehler eine Abänderung der Angaben für die Temperaturen. Es muß nun heißen: bei höchster Temperatur im Mittelpunkt des Sterns 6 600 000° und bei Temperatur auf halbem Weg zum Mittelpunkt 1 900 000°. Dies wäre bei einer Neuauflage zu berücksichtigen.)

Dem Büchlein wohnt zweifellos ein besonderer Reiz inne. Er liegt einerseits in dem hohen Niveau der klaren, flüssigen Darstellung ohne alle Floskeln, weitab von jedem schulmeisterlichen Tone. Andererseits aber in einer Darstellung, die stets getragen ist von einem, übrigens für schwedisches Wesen recht bezeichnenden Zuge von unbekümmerter, wohlthuender Naivität mit einem manchmal väterlich anmutenden wohlwollenden Untertone. Es ist ein Verdienst des Übersetzers, den gewinnenden Stil und eigenen Charakter des Originals in der deutschen Fassung festgehalten zu haben.

Der Wunsch nach einer Fortführung des glücklichen Beginns wird lebhaft und auch der, daß ein führender Physiker in ähnlicher Weise uns physikalische Miniaturen geben möge. Er müßte freilich auch dann wie Strömgren den Mut zur unbeschwerten naiven Darstellungsweise haben. Dann wäre vielleicht auch der Kampf gegen die Seuche der unwissenschaftlichen populären Literatur nicht mehr so aussichtslos.

W. E. Bernheimer, Wien.

**Hauser, F. Über das „kitāb al hijal“ — das Werk der sinnreichen Anordnungen — der Benū Mūsā.** (Abhandlungen zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Medizin, Heft I.) Erlangen, Max Mencke, 1922. 188 S. und 100 Fig. Preis M. 24.

Bei der hohen Bedeutung, die Naturwissenschaften und Technik in der Gegenwart haben, ist es von großem Interesse, ihre geschichtliche Entwicklung kennen zu lernen. Die Originalwerke der Schriftsteller der älteren Zeit sind jedoch nur in wenigen Exemplaren überliefert und daher schwer zugänglich, oft auch in einer Sprache verfaßt, die auch der Gebildete im allgemeinen nicht kennt.

Kitāb al hijal, dessen Verfasser drei Araber des 9. Jahrhunderts sind, ist eines derjenigen Werke der islamitischen Welt jener Zeit, die in besonderem Ansehen standen. Der Verfasser der vorliegenden Schrift hat sich der dankenswerten Aufgabe unterzogen, dieses Werk an Hand einer Übersetzung von Prof. Dr. Wiedemann eingehend zu bearbeiten und zu besprechen. Die zahlreichen Unstimmigkeiten und Fehler, die durch nicht sachkundige Abschreiber älterer Zeit in die überlieferte Handschrift hineingetragen worden sind, wurden richtiggestellt. Der ursprüngliche Text, der in ermüdend breiter Darstellung auch viele Wiederholungen bringt, wurde durch eine klare, in allen Teilen leichtverständliche Neubearbeitung ersetzt. Lücken im Text, die das Verständnis erschwerten, wurden ergänzt, die Stellen jedoch als Ergänzungen kenntlich gemacht. Kitāb al hijal ist damit allgemein zugänglich geworden. Es ist eine Beschreibung von 100 verschiedenen Vorrichtungen mit merkwürdigen Eigenschaften. Die

<sup>1)</sup> Naturwissenschaften 1921, Heft 16.

<sup>2)</sup> Naturwissenschaften 1921, Heft 49.

behandelten Aufgaben erscheinen zunächst schwierig oder manchmal gar unlösbar. Aus der großen Zahl seien hier nur einige angeführt:

Eine Henkelkanne zum Waschen zu konstruieren, in die man durch dieselbe Einfüllöffnung heißes und kaltes Wasser eingießt, ohne daß es sich mischt, und aus der man dann heißes und kaltes Wasser getrennt oder gemischt entnehmen kann.

Ein Warmwasserbereiter mit einem Hahn, aus dem nur so lange heißes Wasser austreten kann, als man oben in den Kessel kaltes Wasser nachgießt.

Ein Krug, in den man bestimmte Mengen verschiedener Flüssigkeiten einfüllt, die man dann getrennt ein- und demselben Hahn entnehmen kann.

Ein Krug, aus dem bei jeder Öffnung des Hahns immer nur eine bestimmte Menge austritt.

Ein Becher, dessen Füllung und Leerung man vertauschen kann.

Eine Flasche, aus der man getrennt oder gemischt Wein und Wasser entnehmen kann.

Verschiedene Konstruktionen von Springbrunnen, die in Gebilden springen, welche selbsttätig ständig wechseln.

Herstellung einer Lampe, aus welcher der Docht von selbst herauskommt.

Instrument zum Hervorholen von Gegenständen aus dem Wasser. —

Aus der Problemstellung geht hervor, daß es den arabischen Verfassern häufig nur um die Erzielung verblüffender Wirkungen zu tun war. Doch sind auch Konstruktionen beschrieben, die praktischer Verwendung fähig sind.

Bewundernswert ist, daß alle Aufgaben mit einfachen konstruktiven Hilfsmitteln gelöst wurden. Meist handelt es sich um geschickte Verwendung von Hebern und Schwimmerventilen. Der Zusammenbau dieser und ähnlicher einfacher Konstruktionselemente zur Erreichung der verschiedenartigsten Wirkungen verrät erfinderischen Geist, der den Vergleich aushält mit mancher modernen „Erfindung“, auf die heutzutage Patentsanspruch erhoben wird.

Das Buch gibt so einen wertvollen Beitrag zu unserer Kenntnis der technischen Fertigkeiten und Bestrebungen jener Zeit. Wer sich eingehender über diesen Gegenstand zu unterrichten wünscht, findet in dem Buch die Geschichte der Benû Mûsâ, ein Kapitel über die damaligen Kenntnisse der islamitischen Welt auf diesem Gebiete im allgemeinen, einen umfangreichen Quellennachweis und zahlreiche Literaturangaben.

P. Schröder, Stuttgart.

#### **Rübel, Eduard, Geobotanische Untersuchungsmethoden**

Berlin, Gebr. Borntraeger, 1922. XII, 290 S., 69 Textfig. und 1 Tafel. 16½ × 25½ cm. Preis M. 120,—.

In der pflanzengeographischen Literatur, die ja überhaupt trotz oder vielleicht gerade wegen ihres — dem raschen Fortschreiten der Wissenschaft entsprechend — außerordentlich angeschwollenen Umfanges einen gewissen Mangel an guten, modernen Handbüchern zu beklagen hat, fehlte es bisher vollständig an einem Werke, das eine Einführung in und eine zusammenfassende Übersicht über die Methoden der ökologischen Vegetationsforschung bot. Des Amerikaners Clements 1905 erschienene „Research methods in ecology“ vermögen, abgesehen davon, daß dieses Buch in Europa nur schwer zugänglich ist, diese Lücke nicht in einem für unsere Bedürfnisse befriedigenden Maße auszufüllen, und in dem bekannten Handbuch der öko-

logischen Pflanzengeographie von Warming-Graebner findet man zwar manche einschlägigen Angaben und Literaturnachweisungen, doch strebt dieses Werk, entsprechend seinem anderweitigen Hauptziel, naturgemäß keine systematische Ordnung und Vollständigkeit nach dieser Richtung hin an. So war der auf diesem Gebiete Arbeitende bisher genötigt, sich die erforderlichen Informationen aus der zerstreuten und teilweise nicht immer leicht zugänglichen Originalliteratur zusammenzusuchen und im übrigen durch eigene, mühselige Erfahrung sich seine Untersuchungsmethoden selbst auszubauen. Es ist daher mit dankbarer Freude zu begrüßen, daß der verdienstvolle Begründer und Leiter des „Geobotanischen Institutes Rübel“ in Zürich sich der nicht geringen Mühe unterzogen hat, die in eigener Forschungs- und Vorlesungstätigkeit gesammelten Erfahrungen und seine eingehende Kenntnis der einschlägigen Literatur einem weiteren Kreise von Fachgenossen und Interessenten in dem vorliegenden Buche zugänglich zu machen.

Der Inhalt des Buches gliedert sich zunächst in zwei Hauptteile, deren erster die einzelnen ökologischen Standortsfaktoren und ihre Messung behandelt, während der zweite der Untersuchung der Pflanzenbestände gewidmet ist. Im ersten Teil, der etwas mehr als die Hälfte des ganzen Buches umfaßt, ergeben sich bei der Besprechung der klimatischen (Wärme, Licht, Feuchtigkeit, Wind) und edaphischen Faktoren naturgemäß zahlreiche Berührungspunkte mit der Physik, Meteorologie, Bodenkunde usw., doch hat Verf. es bei allem Streben nach einer genügenden Vollständigkeit verstanden, Übergriffe in diese Gebiete zu vermeiden und, unter Ausschluß auch rein physiologischer Fragestellungen und Methoden, sich auf das ökologisch Wichtige zu beschränken. Die Darstellung gibt nicht nur eine Schilderung der Einrichtung und Handhabung der Instrumente, welche durch die beigelegten Abbildungen — von denen einige allerdings vielleicht etwas klarer hätten ausfallen können — erläutert werden, sondern die mit ihnen erreichten Resultate werden auch durch Beispiele belegt und gegebenenfalls wird auf bisher noch nicht befriedigend gelöste Fragen hingewiesen. Besondere Unterabschnitte des ersten Teiles behandeln die biotischen Faktoren (einschl. der menschlichen Einflüsse) und die gegenseitige Ersetzbarkeit der ökologischen Faktoren, ferner die Standortstetigkeit und die ökologischen Lebensformen. Im zweiten Hauptteil werden außer den an die Bestandesaufnahmen sich anknüpfenden Fragen (floristische Zusammensetzung der Assoziationen, Gliederung in Schichten, Bestimmung der Abundanz, Konstanz und Gesellschaftstreue der Arten usw.) auch die Sukzessionsaufnahmen, die Ermittlung der Höhenstufen und die Kartographie der Pflanzenvereine behandelt.

Neben der klaren Darstellungsweise trägt überall auch die eingehende und klare Gliederung des Stoffes zu dem hohen didaktischen Wert des Buches bei, dem die Tatsache, daß Verf. den Gegenstand wiederholt in Vorlesungen zu behandeln Gelegenheit hatte, sicherlich sehr zustatten gekommen ist. Da das in dem Buch behandelte Gebiet noch in rascher Weiterentwicklung begriffen ist, so ist es selbstverständlich, daß es noch keinen endgültigen Abschluß, sondern nur eine Zusammenfassung des derzeitigen Standes der Forschung bedeutet; als solche aber stellt es eine überaus verdienstliche Arbeit dar, und wenn es auch in manchen Einzelheiten nicht der Auffassung und den Wünschen jedes auf diesem Gebiet arbeitenden For-



schers gerecht werden mag, so wird dadurch der Gesamtwert des Buches doch nicht berührt. (Der Referent vermißt z. B. bei der Erörterung der Lebensformen eine Berücksichtigung des Drudeschen Entwurfes der physiognomischen Lebensformen, auch wäre vielleicht eine etwas eingehendere Diskussion des Assoziationsbegriffes, eine Behandlung der Bestimmung der Assoziationsgrenzen und eine etwas ausführlichere Behandlung der Sukzessionsfragen erwünscht gewesen, endlich sind vielleicht die erläuternden Beispiele mit etwas zu einseitiger Vorliebe hauptsächlich den schweizerischen Vegetationsuntersuchungen entnommen.) Nicht nur als Hilfsmittel für Lehrer und Lernende ist es eine überaus willkommene, einem dringenden Bedürfnis entsprechende Erscheinung, sondern es wird sicherlich auch auf die weiteren Fortschritte der Wissenschaft befruchtend und anregend einwirken.

W. Wangerin, Danzig-Langfuhr.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Zur Krisis des Kausalitätsbegriffs.

Die Fragen, die die beiden Artikel von *Schottky* und von *Nernst* hinsichtlich der Geltung des Kausalitätsprinzips aufgeworfen haben<sup>1)</sup>, sind vor einigen Jahrzehnten von der naturwissenschaftlichen Erkenntnistheorie im wesentlichen behandelt und zu einem Abschluß gebracht worden.

*Schottkys* Zweifel beziehen sich hauptsächlich auf die zeitliche Erstreckung eines Vorganges, vor allem auf die Möglichkeit, daß die theoretische Physik genötigt sein könnte, die herrschende Nahwirkungstheorie nicht nur hinsichtlich ihrer räumlichen Seite aufzugeben, sondern sogar zeitliche Fernwirkungen zuzulassen. „Jetzt aber — und das ist das Wichtigste — nicht mehr in der Weise, daß das Verhalten eines Teilchens *A* die Folge des zu den ein wenig früheren Zeiten vorhandenen Zustandes der übrigen Teilchen *B*, *C* usw. ist, sondern indem wir die entsprechenden Vorgänge als „gleichzeitig“ erklären, unterscheiden wir überhaupt nicht mehr zwischen Ursache und Wirkung, sondern stellen nur noch Beziehungen zwischen den Zustandsänderungen der verschiedenen Teilchen fest.“ Und damit scheint ihm „das Kausalgesetz selbst, mit seiner vollkommenen Bedingtheit der kommenden Erscheinungen durch die gegenwärtigen und vergangenen, in seiner bisherigen Form in Frage gestellt.“

Die Unklarheit des Ursachsbegriffs hat zuerst *Mach* erkannt. Schon 1871 sagt er: „Das Kausalgesetz ist hinreichend charakterisiert, wenn man sagt, es setze eine Abhängigkeit der Erscheinungen voneinander voraus. Gewisse müßige Fragen, z. B. ob die Ursache der Wirkung vorausgehe oder gleichzeitig sei, verschwinden damit von selbst<sup>2)</sup>.“ Mit dieser Reduktion der Kausalität auf die in den Gleichungen der Physik ganz allein zum Ausdruck kommende

funktionelle, gegenseitige Abhängigkeit von Empfindungskoinzidenzen ist die alte absolute Zeit, „in“ der sich die Ereignisse abspielen, ausgeschaltet. Im höchsten Maße aufklärend ist die an demselben Orte gemachte Bemerkung *Machs*, daß die Zeit in den Gleichungen stets durch einen sich verändernden Winkel ersetzt werden kann. Sie braucht dem Physiker in der Tat als nicht anderes zu gelten als der Stundenwinkel des Frühlingspunktes. Damit ist sie als gleichberechtigtes Glied unter die übrigen Bestimmungselemente — Längen, Massen, Temperaturen, Potentiale usw. — eingereiht und schwebt nicht mehr über ihnen. Im Prinzip ist damit auch zeitliche „Fernwirkung“ genau so zugelassen wie räumliche. In der vierdimensionalen „absoluten Welt“ *Minkowskis* ist sie ja auch schon implizite enthalten: prinzipiell könnte nichts hindern, irgendein Stück einer „Weltlinie“ auf irgendein anderes derselben oder einer anderen Weltlinie eindeutig abzubilden und damit ein Früheres durch ein Späteres ebenso zu „erklären“ wie dieses Spätere durch jenes Frühere. *Schottky* sagt im Grunde mit seinen Worten nur dasselbe: „Wir dürfen und wollen letzten Endes keine anderen Gesetze aufstellen als solche, die die bestimmte Aussage enthalten: wenn ich das und das festgestellt habe, oder wenn ich das oder das tue, so passiert das und das.“ Dieser Satz braucht nur folgerichtig und vollständig durchgedacht zu werden.

An dem, was der Kausalität schließlich zugrunde liegt, an der eindeutigen Bestimmtheit des Naturgeschehens, zweifelt *Schottky* nicht. Hier geht *Nernst* einen Schritt weiter. Und auch auf seine Bedenken vermag die Erkenntnistheorie befriedigende Antwort zu geben.

*Nernsts* Aufmerksamkeit ist in erster Linie auf die statistische Mechanik der Atome gerichtet. Da deren Bahnen heute und vielleicht immer nur in Mittellagen erfaßt werden können, müssen wir „mit der Möglichkeit rechnen, daß für das Problem der quantitativen Berechnung der Einzelvorgänge“ — etwa der Bahn eines einzelnen von einem Radiumpräparat ausgeschleuderten Heliumatoms — „unser Denkvermögen versagt“. Auf kein Naturgesetz können wir uns vollständig verlassen, nicht einmal innerhalb noch so eng gesteckter Grenzen; keines ist mehr als „eine im allgemeinen sehr gute Annäherung“, und möglicherweise teilt das Prinzip der Kausalität selbst dieses Schicksal der Naturgesetze.

Gegenüber diesen beunruhigenden, das wissenschaftliche Denken um so mehr in Frage stellenden Äußerungen, als sie von einem unserer ersten Naturforscher kommen, stellen wir zunächst fest, daß die Naturgesetze statistischen Charakter nicht erst mit der kinetischen Gastheorie und der wahrscheinlichkeitstheoretischen Betrachtung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik angenommen haben, sondern daß sie ihn seit jeher hatten und haben mußten. Jedes Gesetz, schon das Galileische Fallgesetz, ist induktiv gewonnen, aus einer mehr oder weniger großen Zahl von Beobachtungen abgeleitet, die für die zusammenfassende Theorie alle prinzipiell dieselbe Rolle spielen wie die Bahn des einzelnen Atoms oder Elektrons: im allgemeinen von dem in das Gesetz eingehenden Mittelwerte abweichen. Und diese Mittelwerte sind keineswegs etwa die „wahren“, ja nicht einmal die „wahrscheinlichen“. Der zutreffende Begriff für die Ausgleichsrechnung nach der Methode der

<sup>1)</sup> *Schottky*, Das Kausalproblem der Quantentheorie und der modernen Naturforschung überhaupt. „Die Naturwissenschaften“ 9, 1921, S. 492 und 506. — *Nernst*, Zum Gültigkeitsbereich der Naturgesetze, ebenda, 10, 1922, S. 489.

<sup>2)</sup> *Mach*, Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit, Vortrag gehalten in der K. böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften am 15. Nov. 1871. Zweiter, unveränderter Abdruck, Leipzig 1909, S. 35.

kleinsten Quadrate ist nicht der, daß damit „wahrscheinlichste“ Werte für die Unbekannten ermittelt werden, sondern nur Werte, die durch die Menge der beobachteten eindeutig bestimmt sind<sup>3)</sup>. Selbst wenn wir also die Bahn des einzelnen vom Radium ausgeschleuderten Heliumatoms feststellen könnten, wie wir etwa die Bahn des Mondes um die Erde zu bestimmen vermögen, so wäre sie noch immer mit der prinzipiellen Unsicherheit jedes empirischen Datums behaftet.

Das ist ganz natürlich, denn es liegt im Wesen des Erkennens. Erkenntnis ist zuletzt Charakterisierung durch ein Begriffssystem. Jede Theorie ist ein solches. Die physikalischen Beobachtungen, die durch sie gekennzeichnet werden, sind Koinzidenzen von Wahrnehmungen, Zusammenfallen irgendeines wahrgenommenen Zeigers mit einer wahrgenommenen Skala. Und schon jede einzelne Wahrnehmung, auch die fundamentalste, enthält bereits eine begriffliche Charakteristik. Sinnesempfindungen und Begriffe sind unaufhebbare Komponenten jeder Erfahrung, der niedersten wie der höchsten Ordnung. Im besonderen ist schon jede Maßzahl, mit der wir eine Wahrnehmungskoinzidenz charakterisieren, begrifflicher Natur, mit einem sogenannten Beobachtungsfehler behaftet, also für einen gewissen Spielraum geltend. Erst recht jede Maßzahl, die aus einer ganzen Reihe von Beobachtungen nach einer Ausgleichsrechnung gefunden ist und nun die ganze Reihe repräsentiert. Und noch mehr die *allgemeinen* Maßzahlen, die als letzte Elemente in die Gleichungen der theoretischen Physik eingehen. Diese Gleichungen mit ihren — wieder begrifflichen — Verknüpfungen der in ihnen enthaltenen allgemeinen Maßzahlen sind nichts als Begriffssysteme. Solche Gleichungen sind aber die Naturgesetze. Und da die wesentlichste Eigenschaft der Begriffe ihre Allgemeinheit oder vielfache Setzbarkeit ist, so ist jedes Naturgesetz seinem Wesen nach — seinem Begriffe nach oder notwendig — von statistischem Charakter.

„Denken“ ist identisch mit begrifflichem Charakterisieren, mit Auftreten von Begriffen gegenüber Einzelfällen. Die Einzelfälle sind unbegrenzt viele, der zugehörige Begriff oder das zugehörige Begriffssystem nur eins. Das ist die Eigenart dessen, was wir Denken nennen. Darum kann nicht gesagt werden, daß das Denkvermögen den Einzelfällen gegenüber versage<sup>4)</sup>.

Es gibt keine Grenzen des „Begreifens“. Das „Denkvermögen“ würde sich mit ganz andersartigen und weit verwickelteren Umgebungen als der wirklichen ins Gleichgewicht setzen können. Begrenzt sind nur die Sinne, nur sie bedingen „Grenzen des Naturerkenntnis“. Das sind aber keine prinzipieller Art, denn das „Prinzipielle“ ist immer Begriffliches, und die Fähigkeit des „Begreifens“ ist unbegrenzt, weil das Neuronensystem der Hirnrinde immer imstande ist, auf eine *Menge* von Reizen mit einem *einzigen* Gegenprozeß zu reagieren.

Aber vielleicht „versagt“ die „Natur“? Vielleicht enthält sie schließlich gar nicht die Bedingungen der Einheit in der Mannigfaltigkeit, auf der die Möglichkeit

einheitlicher Reaktion, also auch die Möglichkeit des Begreifens beruht? Vielleicht ist die Bahn des fortgeschleuderten Heliumatoms gar nicht eindeutig bestimmt? Das ist doch wohl der Sinn von *Nernsts* Meinung, daß der Kausalsatz möglicherweise auch nur eine im allgemeinen gute Annäherung an das wirkliche Geschehen sei. Zwar würde das heißen, daß die Naturvorgänge zum Teil gesetzlich, kosmisch, zum Teil ungesetzlich, chaotisch verliefen. Aber das wäre an und für sich denkbar.

Nach unseren Darlegungen kann eine Antwort nicht durch unmittelbare experimentelle Befragung der Natur gefunden werden. Es ist undenkbar, daß vollständige eindeutige Bestimmtheit der Naturvorgänge beobachtet würde. Diese ist vielmehr nur in den physikalischen Gleichungen enthalten, und hier beruht sie auf der scharfen Definition der in sie eingehenden Maßzahl- und Operationsbegriffe. Die Experimentalphysik ist immer nur Approximationsphysik — obwohl man gar nicht einmal angeben kann, an was approximiert wird —, lediglich die theoretische kann Präzisionsphysik sein.

Kann die peinliche Frage — es war die Frage *Humes* und *Kants* — somit niemals durch *unmittelbare* Beobachtung entschieden werden, so doch vielleicht durch *mittelbare*, durch ein Schlußverfahren. In der Tat ist sie so beantwortet worden.

Es gibt eine sehr allgemeine Tatsache, die ohne andere ähnliche Tatsachen nicht bestehen könnte. Das ist die Stabilität der Organismenwelt, einschließlich des Menschen, und die Stabilität der Umgebung, in der sie lebt<sup>5)</sup>. Diese sich über viele Millionen von Jahren erstreckende Festigkeit — z. B. der Struktur des Auges der Säugetiere — setzt eine noch weit größere Stabilität des Planetensystems, diese wieder eine größere der nächstgelegenen Teile des Fixsternsystems, diese eine noch größere des Milchstraßensystems usw. voraus, ohne Grenzen, wie weit wir auch in das Weltall hinaus- und in seine Vergangenheit zurückdenken mögen. Diese stationären Systeme, jedes das Ergebnis eines gewaltigen Entwicklungsvorgangs, könnten unmöglich bestehen, wenn sie nicht auf letzten Stabilitäten beruhten, auf elementaren physikalischen und chemischen Gesetzen. Und da die Reihe jener stationären Systeme von immer höheren Graden der Stabilität unbegrenzt fortsetzbar zu denken ist, so müssen auch die etwaigen Abweichungen der Elementargesetze von der eindeutigen Bestimmtheit mit der Fortsetzung der Reihe immer geringer angenommen werden, d. h. wir dürfen sagen: die unendliche Reihe jener Abweichungen konvergiert gegen Null und damit der Grad der Bestimmtheit des Naturgeschehens gegen die absolute Eindeutigkeit. Damit erhebt sich das Prinzip der Eindeutigkeit zum Range eines Postulats und schließlich eines Gesetzes. Das Gesetz der Eindeutigkeit ist die unausweichliche Voraussetzung, das logische a priori der erfahrungsmäßig vorliegenden Stabilität unser selbst und unserer Umgebung. Allerdings erlangt es dadurch keinen höheren Grad der Gewißheit als diese Erfahrung der Stabilität des Weltalls. Mehr kann aber überhaupt nicht gefordert werden. Und so darf es wohl bei den Worten *Machs* sein Bewenden haben, die er in der Diskussion dieser Frage<sup>6)</sup> nieder-

<sup>3)</sup> *Petzoldt*, Maxima, Minima und Ökonomie, Vierteljahrsschr. für wissenschaftl. Philos. XIV, 1890, § 7. Vgl. dazu *Henke*, Über die Methode der kleinsten Quadrate, 2. Aufl., Leipzig 1894, S. 77. Ferner *Mach*, Mechanik, von der 4. Aufl. ab, 2. Kap., § 10, Ziffer 1.

<sup>4)</sup> Näheres s. *Petzoldt*, Die biologischen Grundlagen der Psychologie. Zeitschrift für positivist. Philos. II, 1914, § 24 ff.

<sup>5)</sup> Ausführliches bei *Petzoldt*, Einführung in die Philosophie der reinen Erfahrung II, Leipzig 1904.

<sup>6)</sup> *Petzoldt*, Das Gesetz der Eindeutigkeit. Vierteljahrsschr. für wiss. Philos. XIX, 1895, S. 202 f. *Mach*, Analyse der Empfindungen, 2. Aufl. 1900, S. 237



schrieb: „Es wird am zweckmäßigsten sein, die Grenzen unseres Wissens, die sich überall zeigen, anzuerkennen und das Streben nach eindeutiger Bestimmtheit als ein *Ideal* anzusehen, das wir in unserem Denken so weit als möglich verwirklichen.“ Damit dürften sich auch *Nernst* und *Weyl*<sup>7)</sup> einverstanden erklären.

Berlin-Spandau, den 2. Juli 1922. J. Petzoldt.

## Deutsche Geologische Gesellschaft zu Berlin.

In der Sitzung vom 3. Mai sprach Herr Dr. *Woldstedt* über *Studien an Rinnen und Sanderflächen in Norddeutschland*. Während das hügelige nördliche Hinterland der großen baltischen Endmoränen, z. B. in Mecklenburg und Pommern, aus dem Geschiebemergel der Grundmoräne des Inlandeises aufgebaut wird und die fruchtbare, reich bewegte Moränenlandschaft mit ihren vielen kleinen Seen zeigt, wird das südliche Vorland von den Ablagerungen der dem Eisrande entströmenden Schmelzwässer eingenommen. Wir finden hier weite, nur schwach von der Endmoräne weg nach außen geneigte, ebene Sandflächen, die im Landschaftsbild als öde Sandheiden hervortreten. Solche Sandzonen am Außenrand von Endmoränen nennt man mit einem isländischen Lokalausdruck „Sander“. In dieser die norddeutschen Endmoränen begleitenden Sanderzone fallen einzelne große Sander durch Bau und Oberflächengestaltung besonders auf, in denen *Woldstedt* die Schuttkegel großer Schmelzwasserströme sieht, welche an heute noch gut erkennbaren Stellen aus dem Eise heraustraten. Im einst eisbedeckten Gebiete hinterließen die Ströme ihre Spuren in Rinnentälern, Seenketten und Fördern. Als Beispiele solcher „Kegelsander“ führte der Vortragende den Mückenburgs Sander südlich Berlin in der Neumark an; seine Aufschüttung erfolgte aus dem Plönetal. In ähnlicher Weise gehören die Potsdamer Havelseen und der in ihrer Fortsetzung gelegene Beelitzer Sander zusammen. Hier schuf ein gewaltiger subglazialer Schmelzwasserstrom das Rinnensystem der Havelseen und schüttete seine Sandmassen in einem einspringenden Winkel des Eisrandes als Kegel auf. Eine größere Zahl von Sanderflächen vom Kegeltyp liegt an der äußeren baltischen Endmoräne in Mecklenburg und Schleswig-Holstein. Sie liegt hier in der Fortsetzung der großen Seen- bzw. Fördernflächen, wie z. B. des Plauer, Schweriner und Ratzeburger Sees und in der der Eckernförder, Flensburger und Apenrader Bucht.

Die Entstehung der glazialen Rinnen führt W. in der Hauptsache auf die Tätigkeit des subglazialen Schmelzwassers zurück; vereinzelt hat auch das Eis an der Ausgestaltung mitgewirkt, wie bei manchen Fördern. Die Schmelzwässer flossen unter dem Eise unter anderen Druckverhältnissen als unter der Luft fließendes Wasser, nach dem Prinzip, der kommunizierenden Röhren konnten sie auch bergauf fließen. Die Endmoräne ist gewöhnlich nach den Austrittsstellen der Schmelzwässer hin eingebogen, was der Vortragende zur Sanderaufschüttung unmittelbar in Be-

und alle folgenden Auflagen. — *Petzoldt*, Die Notwendigkeit und Allgemeinheit des psychophysischen Parallelismus. Archiv für systematische Philos. VIII, 1902, S. 284 ff., 325 ff. — Vgl. ferner Einführung II, a. a. O., S. 131 f.

7) S. *Nernst*, a. a. O., S. 494, Anmerk.

ziehung setzt. Alle diese Beobachtungen lassen ein Abfließen der Gletscherschmelzwässer zusammen mit den Flüssen der Mittelgebirge unter dem Eise nach Norden hin, wie es verschiedentlich angenommen wurde, ausgeschlossen erscheinen.

Dieser Kegeltyp von Sanderflächen ist weit verbreitet. Er findet sich bei der Endmoräne nördlich des Baruther Tales wie bei der nächst nördlichen, die der Mittelposenschen oder Frankfurter Stillstandslage entspricht. Dagegen zeigen die Sanderflächen der Umrandung des Odergletschers meist einen anderen Bau. In der Ausbildungsweise der Sander sieht daher der Vortragende ein sehr geeignetes Mittel zur Erkennung wichtiger Eisrandlagen und zu ihrer Verfolgung auf weitere Strecken hin.

W. D.

## Physiologische Mitteilungen<sup>1)</sup>.

Unsere Kenntnisse vom experimentellen Trachom. (*Charles Nicolle*, Bull. de l'Inst. Pasteur Bd. 19, Nr. 24, S. 881–894, 1921.) Bei der Ausbreitung des Trachoms spielen sicherlich die Fliegen eine bedeutende Rolle. In der sog. Fliegenzeit erreichen die Conjunctivitiden ihr Maximum. Zu bedenken ist ferner, daß die Eingeborenen in Afrika die Fliegen ruhig an ihren Augenwinkeln sitzen lassen. Auch experimentell konnte Verf. die Übertragung des Trachoms durch Fliegen erweisen. Fliegen, die drei Stunden in unmittelbarer Nähe eines verdünnten trachomatösen Virus sich aufgehalten hatten, wurden 1 Tag in einen Käfig gesperrt. Dann wurden diesen Fliegen Füße und Rüssel ausgezogen und verrieben und dieses Material dann auf die Conjunctiva von Affen gebracht, bei denen danach ein typisches Trachom sich entwickelte; letzteres konnte wiederum auf einen Blinden überimpft werden. In dem einen Versuche wurde das trachomatöse Material 6 Stunden lang feucht konserviert, bevor die Fliegen damit in Berührung kamen. Die Fliegen können demnach noch 24 Stunden, nachdem sie trachomatöse Augen berührt haben, das Trachom übertragen. Ebenso sind mit trachomatösem Virus beschmutzte Handtücher so lange nicht ungefährlich, als das Material daran feucht bleibt. Durch Austrocknung scheint hingegen das Trachomvirus leicht zerstört zu werden. Mit einem bei 32° ½ Stunde lang getrockneten Trachommaterial ließ sich bei Affen eine Übertragung nicht mehr erzielen, während mit demselben frischen Virus geimpfte Kontrolltiere später Trachom aufwiesen. Diese Versuche erklären hinreichend die Übertragungen von Mensch zu Mensch, besonders von Kind zu Kind durch virulenten Kontakt, besonders wenn durch Sand, z. B. in Wüstengegenden, durch Staub, Wind am Meeresstrand und durch die konsekutiven Schädigungen der Augen beim Reiben derselben mit dem Finger ein entsprechender Reiz gesetzt wird. Die Fliegen, die virulente Tränen aufsaugen und durch den Mechanismus ihres Rüssels und ihrer Füße das Conjunctivalepithel eines gesunden Auges, auf das sie sich gelegentlich setzen, lädieren, stellen demnach einen wichtigen Faktor indirekter und Fernübertragung beim Trachom dar. Der Kampf gegen die Fliege drängt sich mithin als eine wichtige Waffe bei der Prophylaxe des Trachoms auf. Es ist deshalb mit allen Mitteln anzustreben, durch Anbringung von Fliegenfenstern und systematische

<sup>1)</sup> Aus dem Zentralbl. f. d. ges. Ophthalm., Ber. üb. d. ges. Physiol., Deutsche Zeitschr. f. d. ges. gerichtl. Med.

Vernichtung der Fliegen letztere von Trachomkranken sälen und Schulen fernzuhalten. Eine natürliche Immunität scheint beim Menschen gegen Trachom nicht zu existieren. Auch gegen eine nach der ersten Ansteckung auftretende Immunität sprechen alle bisherigen Beobachtungen. Eine Immunisierung durch wiederholte intravenöse Injektionen von Trachomvirus ist bisher mißlungen. Die Versuche scheiterten an der Schwierigkeit der Materialbeschaffung. Behandlungsversuche mit wiederholten intravenösen Injektionen des Virus, das entweder vom Kranken selbst oder von anderen Kranken entnommen war, wurden bei 10 Patienten ausgeführt. Bei 5 wurden angeblich danach Besserungen, bei 2 davon anscheinend völlige Heilung beobachtet. Cuénod hat diese Methode später ersetzt durch subcutane oder subconjunctivale Injektionen von abgeschabtem Conjunctivalmaterial vom Patienten selbst. Verf. erwähnt dann noch einige bekannte Tatsachen über die Prowaczekschen Körperchen. In allen frischen oder floriden Trachomfällen konnte er sie beim Menschen auffinden und beim experimentell erzeugten Trachom im Beginn bei allen Schimpansen, den meisten *Macacus inuus*-Versuchstieren und Kaninchen feststellen. Vermißt wurden diese Körperchen in allen alten Fällen, besonders wenn der Narbenprozeß einsetzte, vor allem beim *Macacus inuus*. Clausen, Halle a. S.

**Teilweiser Verlust des erwerblichen Sehens nach dem Entschädigungsgesetz im Staate New York.** (William Mehl, Med. rec. Bd. 101, Nr. 4, S. 145 bis 148, 1922.) Seit dem Jahre 1914 ist im Staate New York ein Gesetz in Kraft, welches die Aufgabe hat, Körperschäden infolge von Betriebsunfällen abzugelten. Zunächst (bis zum Jahre 1917) wurden nur „glatte“ Verluste entschädigt, also z. B. Verlust einer Hand, mehrerer Glieder eines wichtigen Fingers, Verlust der vollen Sehkraft eines Auges usw. Über die in Betracht kommenden Entschädigungssätze sind durch Entscheidungen eines Appellhofes gültig gewordene Richtlinien geschaffen. Insbesondere ist entschieden, daß nur die Beeinträchtigung der Leistung auf dem allgemeinen Arbeitsmarkt zugrunde zu legen ist. Es wird also kein Unterschied zwischen „gelernten“ und „ungelernten“ Arbeitern bei der Entschädigung gemacht. Seitdem nun aber (seit Juli 1917) auch dauernd verbliebene Teilschäden an einem Organ entschädigt werden, ist für die Augenärzte die Frage wichtig geworden, wie bei teilweisem Verlust des Sehvermögens, Gesichtsfeldes usw. zu urteilen ist. Verf. steht nun im allgemeinen auf dem Standpunkt, daß der praktizierende Augenarzt nur den genauen Befund und die Sehleistung feststellen sollte, daß aber die Angabe des Prozentsatzes der Entschädigung auf dieser Grundlage von besonders dafür bestimmten ausführenden Organen des Staates zu erfolgen hat. Er verbreitet sich jedoch bei dem allgemeinen Interesse, das Ärzte an diesen Fragen haben, über einige bisher bekanntgewordene Entscheidungen der Behörde. So wurde in einem besonderen Falle entschieden, daß ein Auge mit  $\frac{20}{100}$  Rest an Sehvermögen (das durch Gläser nicht weiter zu bessern war) und mit erhaltenem Gesichtsfelde schon einem erblindeten Auge gleichgeachtet und mit 100 % entschädigt wurde. Dem Urteil lag das Gutachten eines der angesehensten Okulisten zugrunde. Verf. ist der Meinung, daß es bedenklich wäre, nur schematisch hiernach ein Auge mit  $\frac{20}{10}$  Visus mit 50 % zu entschädigen. Denn die praktische Erfahrung zeigt doch, daß ein Auge mit halber Sehschärfe nicht ohne weiteres einem halb verlorenen gleichzusetzen ist. Er stellt

selbst eine Tabelle auf, aus der sich ergibt, daß Verf. unter anderem vorschlägt: Bei  $\frac{20}{25}$  Visus =  $6\frac{1}{4}$  % Entschädigung, bei  $\frac{20}{30}$  V =  $12\frac{1}{2}$  %, bei  $\frac{20}{40}$  V = 25 %, bei  $\frac{20}{60}$  = 50 %, bei  $\frac{20}{88}$  = 75 %, bei  $\frac{20}{90}$  =  $93\frac{1}{4}$  % usw. Die Sehschärfe sollte nach Verf. immer mit den Tafeln von Snellen bestimmt werden. Das Gesetz schreibt außerdem vor, daß die mit erträglichen korrigierenden Gläsern festgestellte Sehleistung für die Entschädigung zugrunde zu legen ist. Zusätzlich wird bemerkt, daß durch höhere Entscheidung auch der Verlust des beidäugigen Sehens dem Verluste eines Auges gleichzuachten ist. Verf. glaubt mit seinem Vorschlag einen mittleren gangbaren Weg eingeschlagen zu haben. Die Erfahrungen und Grundsätze der Unfallgesetzgebung anderer Staaten (Californien, Canada) und europäischer Länder werden kurz erwähnt, aber nicht zum Vergleich herangezogen. Die Grundsätze des Verfahrens sind wohl auch in vielem andere.

Junius, Bonn.

**Die Verkupferung des Auges.** (A. Jeß, Dtsch. med. Wochenschr. Jg. 48, Nr. 4, S. 118—120, 1922.) Das Krankheitsbild der *Verrostung* (Siderosis) des Augapfels ist allgemein bekannt. Die „Verkupferung“ des Auges war früher so selten, daß sie — außerhalb der Fachkreise — kaum bekannt sein dürfte, wenn natürlich auch die Gefährlichkeit längerer Verweilens von Fremdkörpern aus reinem Kupfer schon immer gelehrt wurde. Der Krieg hat derartige Verletzungen viel häufiger werden lassen. Hierbei kamen aber meist messingartige Legierungen des Kupfers (aus Zündern von Granaten, von Zündkapseln, Wand der Handgranaten und Minen) zur Wirkung. Das klinische Bild ist danach wesentlich anders als bei Schädigung durch Kupfer, deren Folge große Exsudatbildung durch chemischen Reiz und chronische Iridocyclitis zu sein pflegt. Die Wirkung, namentlich kleinster Splitter von Kupferlegierungen sind vielfach milder, erschienen harmlos, blieben auch zum Teil lange reaktionslos. Es mehren sich nun aber die Fälle, in denen nach anfänglich kaum beachteten oder gar unbewußt gebliebenen Verletzungen später Glaskörperstränge auftreten und Durchsetzung der Netzhaut sich zeigt, die dann schwere Folgen zeitigt, öfter auch zum Verlust des betroffenen Auges führt. Purtscher hat bekanntlich auf die grau-grüne „sonnenblumenartige“ Erscheinung in der Linse hingewiesen, deren Auftreten für Anwesenheit von sonst nicht nachweisbarem Kupfer im Auge pathognomonisch ist. 16 derartige Fälle sind in der Literatur beschrieben worden (sog. Scheinkatarakt). A. Vogt verlegte die „Sonnenblumentrübung der Linse“ in das bekanntlich nur unter der vorderen Kapsel befindliche einschichtige Epithel. Er fand aber auch im Glaskörper grün-graue Stränge und Membranen, zwischen denen dichte Staubwolken von grau-grünen Partikelchen flottierten. Jeß berichtet über drei neue klinische Fälle (bei zwei 27 bzw. 28 Jahre alten früheren Soldaten und einem 52jährigen Manne, der in einer Munitionsfabrik beschäftigt gewesen war). Auch diese Fälle bewiesen durch ihren Verlauf, daß nach jahrelangem scheinbar reizlosen Verweilen der Splitterchen von Kupferlegierungen im Auge schließlich doch ernste Schädigungen eintraten (ein Auge ging durch chronische Iridocyclitis zugrunde). Derartige Fälle dürften in der nächsten Zukunft als späte Kriegsfolgen noch öfter zur Beobachtung kommen. Vorschläge des Verf. für die Therapie: Auch bei Verdacht auf derartige Splitter soll man, wenn irgend möglich, operativ vorgehen — trotz der Schwierigkeit des Unternehmens —, selbst noch nach Auftreten der



Sonnenblumentrübung. Die praktischen Ärzte sollten aber, wenn ihnen ein derartiger Fall zu Gesicht kommt, nicht säumen, denselben einem Augenarzt zur Mitbeobachtung zu überweisen.

Junius, Bonn.

**Das sogenannte „Schneelandschaftsphänomen“.** (Wilhelm Comberg, Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg., Abt. II: Zeitschr. f. Sinnesphysiol. Bd. 53, H. 3/4, S. 179—186, 1921.) Es ist eine bekannte Tatsache, daß ein Schneefeld oft bedeutend heller erscheint als der darüber befindliche bewölkte Himmel. Dies kann dadurch zustande kommen, daß 1. beim natürlichen Sehen nur ein lichtschwächerer Teil des Himmels (die Fläche nahe dem Horizont bei Bewölkung) mit den Schneefeldern direkt verglichen werden kann. Ein Vergleich zwischen dem helleren Zenit und dem Schneefeld ist ohne weiteres nicht möglich, weil der Winkel zwischen beiden Beobachtungsrichtungen viel zu groß ist; 2. die Blendenwirkung des Oberlides und der Wimpern den Eindruck größerer Helligkeit bei den Flächen begünstigt, die bei Beobachtung in aufrechter Haltung unter dem Horizont gelegen sind; 3. gelegentlich durch den Einfluß der Adaptation und des Kontrastes unter dem Horizont gelegene Felder an Helligkeit gewinnen. Um eine Abschätzung des jeweiligen Anteils dieser Faktoren vornehmen zu können, verglich Verf. mittels zweier kleiner Spiegel die Himmelsfläche aus der Gegend des Zenits mit der unter gleichem Winkel gespiegelten Schneefläche und fand den Zenithimmel stets bedeutend heller. Quantitative Feststellungen konnte Comberg leider nicht machen; Kontrollversuche mit Spiegelung des Horizonthimmels werden nicht mitgeteilt. Verf. ist auf Grund seiner Versuche geneigt, dem unter 1. angeführten Faktor die Hauptrolle beim Zustandekommen des Schneelandschaftsphänomens zuzuschreiben. Best.

**Die Messung des Glanzes von Papier und ähnlichen Flächen.** (L. R. Ingersoll, Dtsch. opt. Wochenschr. Jg. 8, Nr. 9, S. 153—155, 1922.) Zum Unterschied vom diffus zurückgeworfenen Licht ist das regelmäßig gespiegelte eben polarisiert: „Der Glanz einer Papiersorte kann also eindeutig durch den prozentualen Anteil des polarisiert-reflektierten Lichtes ausgedrückt werden.“ Dazu wird ein Meßgerät angegeben. Das vom Papier unter 57° zurückgeworfene Licht tritt durch einen Spalt und danach durch ein Wollastonesches Doppelprisma. Eine Linse entwirft von dem Spalt ein durch das Prisma verdoppeltes Bild. Das eine Feld enthält den regelmäßig gespiegelten Anteil des Lichtes und die Hälfte des diffus zurückgeworfenen, während im anderen der Glanz, d. h. das polarisierte völlig weggefallen ist, wenn eine Polarisations-ebene parallel der untersuchten Fläche gerichtet ist. Daher erscheinen die Bilder im allgemeinen verschieden hell. Durch Drehung eines im Okular angebrachten Nikols lassen sich beide auf gleiche Helligkeit bringen. Der Anteil des polarisierten Lichtes ist dann dem Kosinus des doppelten Drehungswinkels proportional. Maßangaben willkürlich in Winkelgraden, z. B. für weiches Löschpapier 20°, für das am stärksten glänzende Papier 50°. Gerät liefert Fr. Schmidt & Haensch, Berlin S. 42. H. Erggelet, Jena.

**Marksteine in der Lehre von der Refraktion.** (Ernest Clarke, Practitioner Bd. 108, Nr. 2, S. 119 bis 130, 1922.) Verf. gibt einen Überblick über die Entwicklung der letzten 40 Jahre, die mit seiner eigenen Tätigkeit zusammenfällt und besonders durch Donders und Snellen gefördert wurde. 1881 wurde in Utrecht schon nach Dioptrien gerechnet; die Simulantentafeln

mit bunten Gläsern kamen damals auf; die Schattenprobe zur Ermittlung des Brechungszustandes war noch nicht allgemein gebräuchlich. Einige Jahre später spielte die Asthenopiefrage eine besondere Rolle (namentlich bei niederen Graden von Astigmatismus und Anisometropie; geringe Hyperopie hat weniger Bedeutung). Myopie galt vor Donders für das Gegenteil von Presbyopie; erst Donders empfahl die Vollkorrektion; bei frühzeitigem Beginn mit Gläsertragen können Brillen später oft wieder entbehrlich werden. Verf. gibt eine Zusammenstellung von 750 lange beobachteten Fällen von Myopie ohne Fundusveränderungen, von denen nur 16 eine erhebliche Zunahme zeigten. Auf die Schädlichkeit des starken Konvergierens wird hingewiesen. Auch jede Presbyopie bedarf einer sorgfältigen Untersuchung. Ist Asthenopie dabei, so sind Fern- und Nahgläser oder Bifokale zu verordnen. Über die Notwendigkeit der pupillen- und akkommodationlähmenden Mittel (Mydriatica) für die Refraktionsbestimmung haben die Ansichten sehr gewechselt; Verf. steht jetzt auf einer mittleren Linie. Ein Glaukom hat er in all den Jahren durch Pupillenerweiterung selbst niemals ausgelöst. Die Heterophoriefrage ist besonders durch Maddox gefördert worden. Namentlich beim Einwärtsschielen ist sorgfältige Gläserkorrektion und zeitweiliges Verbinden des guten Auges von Wert. Den Schluß des Aufsatzes bildet eine Besprechung des Untersuchungsgeräts (Ophthalmometer, Sehproben, Probiengestelle). Kirsch.

**Untersuchungen über die Physiologie und Pathologie der Blasenfunktion. VIII. Mitt. Die Dynamik der Blase.** (Oswald Schwarz und Axel Brenner, Zeitschr. f. urol. Chirurg. Bd. 8, H. 1/2, S. 32—62, 1921.) In vorliegender Mitteilung wird die von der Harnblase geleistete Arbeit und deren Effekt einer physikalischen und biologischen Betrachtung unterzogen. Der Harnstrahl besitzt zwei Qualitäten: die *Sprungweite* (Propulsion) und die *Dicke*. Die Propulsion ist der Ausdruck der *Geschwindigkeit*, mit welcher der Harn die Blase verläßt. Die Geschwindigkeit der Harnentleerung wurde aus der Weite der Parabel des Harnstrahles berechnet. Die beobachtete Geschwindigkeit war kleiner als die theoretisch erwartete. Die *Dicke* des Harnstrahles ist in erster Linie eine Funktion der Weite der Ausflußöffnung und findet ihren Ausdruck in der in der Zeiteinheit urinierten Flüssigkeitsmenge. Wird die urinierte Harnmenge in Verhältnis zu der dazu benötigten Zeit gebracht, so ergibt sich ein ziemlich konstantes *Sekundenvolumen*. Dieses von Individuum zu Individuum wechselnde, aber für jede Person charakteristische und konstante Sekundenvolumen kommt durch das koordinierte Zusammenwirken vom Detrusor und Sphincter internus zustande. Der Detrusor ergibt den *Druck*, der Sphincter die *Öffnungsweite*. Auf den *Druck* in der Harnblase kann aus der *Geschwindigkeit* der Harnentleerung und auf die *Weite der Ausflußöffnung* aus dem *Sekundenvolumen* geschlossen werden. Unter Berücksichtigung dieser beiden einfachen Faktoren, der Geschwindigkeit und des Sekundenvolumens, können wertvolle Anhaltspunkte für die Beurteilung einer gestörten Blasenfunktion gewonnen werden. Findet man z. B. normales Sekundenvolumen und mittlere Geschwindigkeit, so kann auf normale Orificiumweite und auf mittleren Blasendruck geschlossen werden. Normales Sekundenvolumen, aber sehr große Geschwindigkeit, spricht für relativ enges Orificium und entsprechend hohen Druck.

Stellt man eine Energiebilanz der Blase auf, indem man einerseits den Druck in der Blase, andererseits die lebendige Kraft des Harnstrahls bestimmt, so findet man einen bedeutenden Energieverlust. Diese Energieverluste werden dadurch bedingt, daß die Harnröhre eigentlich gar kein Lumen besitzt und der Harnstrahl sich seinen Weg erst bahnen muß. Dieses führt zu einer Erhöhung des Widerstandes und zu Geschwindigkeitsverlust. — Die mathematische Formulierung all dieser Momente ist im Original nachzusehen. — An Hand der neu gewonnenen Kriterien werden von den Verf. mehrere Fälle von Pollakisurie, Neurasthenie, Tabes, multiple Sklerose und Prostatahypertrophie besprochen. *J. Abelin, Bern.*

**Gefriererier.** (*M. Michaud, Bull. de la soc. scient. d'hyg. aliment. Bd. 7, S. 415—435, 1921.*) Im Jahre 1918 produzierte China ca. 2,009 Milliarden Eier, von denen ein Teil in gefrorenem, ein Teil in konserviertem Zustand (Borsäure, Benzoesäure und andere Konservierungsmittel) exportiert wurde. 1919 wurden ca. 11 930 t (= 42 Millionen Stück) Gefriererier ausgeführt; Frankreich führte aus China jährlich durchschnittlich 10 000 t ein. Amerika stellt ebenfalls große Mengen Gefriererier her, treibt aber keinen Export. Die fabrikmäßige Herstellung in China liegt ausschließlich in Händen englischer und amerikanischer Unternehmer, von denen z. B. einer 700 Arbeiter beschäftigt. Bevor die Eier dem eigentlichen Gefrierprozeß unterworfen werden, muß eine sorgfältige Auswahl getroffen werden; die zum Genuß unbrauchbaren werden in der Weißgerberei und als Viehfutter verwendet. Obwohl das Aufschlagen der Eier, die Trennung des Eigelb vom Eiweiß unter möglichst strenger Asepsis (Sterilisation der Instrumente, Desinfektion der Arbeitskleidung) geschieht, haben in Amerika angestellte Untersuchungen (Department of Agriculture) gezeigt, daß zwar 81,9 % der Eier steril waren, daß jedoch in 2 % *B. coli* gefunden wurde; außerdem wurden noch Staphylokokken, Streptokokken, *Saccharomyces*, *Penicill. glaucum*, *Mucor corymbifera* festgestellt. Das Gelbe zeigte sich bakterienreicher als das Weiße. Die chemische Untersuchung erstreckte sich auf Bestimmung der Trockensubstanz, deren Ätherextrakt, auf Säuregehalt des Ätherextraktes, auf die Gegenwart reduzierender Zuckerarten, Indol und Skatol;  $\text{NH}_3$ -Gehalt ist umgekehrt proportional der Qualität. Die im Herbst gelegten Eier sind kleiner, ihr Gelb ist trüber, ihr Weiße fester, ihr Bakterienreichtum größer, sie verderben leichter als die im Frühjahr gelegten. Die Eiweißmembran der Sommereier ist dünn und zerreißt leicht. Zahlreiche in der Abhandlung aufgeführte Tabellen geben über Einzelheiten dieses bedeutenden Zweiges der Nahrungsmittelindustrie genauen Aufschluß. *Kapfhammer, Leipzig.*

**Über die Biologie einer Chalcidide (Schlupfwespe).** (*Jean-L. Lichtenstein, Cpt. rend. hebdom. des séances de l'Acad. des sciences Bd. 173, Nr. 17, S. 733—735, 1921.*) Die Schlupfwespe *Habrocytus cionica* n. sp. ist vom Verf. beschrieben und beobachtet worden. Im Jugendstadium parasitiert diese Wespe an den Larven und Puppen des Käfers *Cionus thaspi* (Familie Curculionidae). Ergänzende biologische Angaben werden hier gemacht. Die Kopulation ist sehr stürmisch, mit vorhergehendem Liebespiel. Das legreife Weibchen sucht sich Körner aus, in denen die Käferlarve lebt und sticht durch die Schale die Käferlarven an: einmal um sie zu lähmen und zweitens um die Eier — Ausschlüpfen nach 2—3 Tagen — unterzubringen. Die

schlüpfende Wespenlarve saugt die Käferlarven aus. Nach 7—8 Tagen ist erstere erwachsen, reinigt den Darm und verpuppt sich; nach 15tägiger Puppenruhe schlüpft die Wespe aus, indem sie sich mit den Kiefern durch die Schale des betreffenden Kornes frißt. — Besonders bemerkenswert und bisher noch nicht beschrieben ist die ganz eigentümliche Art der Ernährung der Weibchen dieser Wespe. Voraus schickt Verf., daß es bekannt ist, wie Schlupfwespen Raupen oder Eier ihrer Wirte aussaugen durch die Stichstelle, welche sie mit dem Stachel setzten. Das gleiche tut *Habrocytus cion*. Da aber die Käferlarve, welche sie als Wirt zur Eiablage benutzt, in einem Samenkorn lebt, und da ein Zwischenraum zwischen Käferlarven und Kornschale bleibt, so kann die Wespe nicht ihren Mund auf die Stichstelle in der Käferlarvenhaut anpressen. Andererseits gestattet die Länge des Stachels ein Anstechen des Wirts. *Habrocytus* verfährt nun wie folgt: Das Weibchen sticht durch die Schale die Käferlarve an und läßt seinen Legestachel sehr lange — bis zu  $\frac{1}{2}$  Stunde — in dieser Lage stecken. Dabei tritt ein Sekret längs des Stachels aus, welches gerinnt und den Stachel schließlich wie eine Scheide umhüllt. Ist das geschehen, so zieht die Wespe den Stachel heraus und so ist eine feine capillare Röhre entstanden, die vom Inneren der gelähmten Käferlarve durch die Samenschale nach außen geht. Der Außenöffnung der selbstgeschaffenen Röhre preßt die Wespe den Mund auf und saugt nun durch dieses Steigrohr die Larve aus. Verf. gibt diese Verhältnisse im Bild wieder. — Diese ganz eigenartigen Verhältnisse der Verwendung des Wehrstachels zur Nahrungsgewinnung dürften bis jetzt nach Verf. einzig dastehen.

*Albrecht Hase, Berlin-Dahlem.*

**Kohlenoxydvergiftung in geschlossenen Garagen.** (*Publ. health rep. Bd. 36, Nr. 36, S. 2215—2219, 1921.*) Während des Winters ereignen sich neuerdings häufig CO-Vergiftungen durch das ausströmende Gas von Automobilen, die in kleine geschlossene Garagen hineinfahren, weshalb Automobilbesitzer und Chauffeure für eine ausreichende Ventilation dieser Räume sorgen sollten, ehe sie mit ihren Maschinen für längere Zeit dort hineinfahren. Der am meisten giftige Bestandteil der ausströmenden Gase bei Automobilen ist das CO, welches rasch Personen vergiftet, die ihm in einiger Konzentration ausgesetzt sind. Um die Gesamtmenge des ausströmenden Gases eines Automobils und seinen CO-Gehalt zu bestimmen, ließ man eine kleine Maschine von 23 Pferdekraften in einem besonderen Raum, der einer kleinen Garage entsprach, anlaufen und fand, daß die Maschine annähernd 25 Kubikfuß in der Minute an Gas ausströmen ließ, von dem mit Luft nicht gemischte Proben ungefähr 6 % CO enthielten, so daß der Wagen ungefähr 1,5 Kubikfuß CO in der Minute produzierte. Praktisch war in allen Teilen des Raumes die Konzentration des Gases gleichartig. Wenn also ein solcher Wagen in der Minute 1 Kubikfuß CO abgibt beim „Aufwärmen“ in einem geschlossenen Raum von 10 : 10 : 20 Fuß Rauminhalt, müßte die Luft darin in 3 Minuten die gefährliche CO-Konzentration von 15 : 10 000 Teile erreichen.

*G. Straßmann, Berlin.*

## Geographische Mitteilungen.

**Die Verteilung der Bevölkerung in Mexiko.** (*Summary, W. Cushing, The Distribution of population in Mexico, the Geographical Review 11, 227, 1921.*) Wenn auch die Bevölkerung Mexikos nicht der



scharfen Scheidung in Land und Stadt unterliegt, wie die der Vereinigten Staaten, so darf man doch ohne große Ungenauigkeit die Bewohner von Orten unter 2000 Seelen als durchweg agrarisch und ländlich, die aller größeren Orte aber als städtisch bezeichnen. Für die Verteilung jener sind in erster Linie die *Niederschläge* von großer Bedeutung. Aus der ungleichen Benetzung des Landes folgt der starke Gegensatz der Volksdichte zwischen dem Norden und dem Süden des Hochlandes. Der äußerste Nordwesten (Niederkalifornien, Sonora) mit Niederschlagshöhen unter 25 cm ist ganz spärlich besiedelt (weniger als 1 Mensch auf 1 km<sup>2</sup>). Ein breiter, vom pazifischen bis zum atlantischen Meere reichender nördlicher Gürtel mit Werten bis zu 50 cm gestattet nur Weidewirtschaft und läßt die Bevölkerung bis auf 5 auf 1 km<sup>2</sup> ansteigen, eine begünstigtere Insel im Osten — um Monterey — abgerechnet, wo sie bis zu 20 beträgt. Etwas weiter südlich vermag die steigende Niederschlagsmenge zunächst noch keine Besserung der Siedlungsgrundlagen herbeizuführen, weil ihr Maximum in den Spätsommer und Frühherbst, also in eine für den Getreideanbau ungünstige Zeit fällt. Daher herrscht auch hier noch Weidewirtschaft bei einer Volksdichte von 5 und weniger. Erst im Süden des Hochlandes gestattet die Niederschlagsmenge (bis 100 cm und mehr) und der häufige Regenfall im Sommer Ackerbau und Anhäufung zahlreicher Bevölkerung ( $\pm 60$  auf 1 km<sup>2</sup>). Südlich 18° n. Br. machen sich die den Getreidebau einschränkenden Eigenschaften des Tropenklimas geltend, die zu große Feuchtigkeit, welche die Nährstoffe des Bodens rasch auslaugt und zu tiefem Pflügen und zu künstlicher Düngung zwingt und die größere Wachstumskraft der dem Klima und dem Boden besser angepassten tropischen Pflanzenwelt, die die Kulturpflanzen gemäßiger Breiten unterdrückt. Hier herrscht demgemäß koloniale Pflanzungswirtschaft bei einer Bevölkerungsdichte von 20 und weniger. — Als zweiter Faktor der Siedlungsdichte fällt die *Höhenlage* ins Gewicht. In dieser Hinsicht ist die dichte Besiedlung der gemäßigt-klimatischen Hochfläche (*tierra templada*) gegenüber der dem tropischen Süden ähnlichen Küstenregion (*tierra caliente*) bemerkenswert (20—50 bzw.  $\pm 20$  auf 1 km<sup>2</sup>). Der dritte, das *Relief*, ist insofern ausschlaggebend, als die starke Benetzung des atlantischen Hochlandabfalles, die Abspülung der Gehänge und die Versumpfung der Gründe den Ackerbau erschwert, ausgedehntere Ebenen (*bolsones*) ausgenommen. In günstiger Richtung wirken alle drei Faktoren, Niederschläge, Höhenlage und Relief, vereint allein im Hochland, das daher von alters her das Dichtezentrum des Landes ist. — An Großstädten ist Mexiko bei seinem überwiegend landwirtschaftlichen Charakter arm; es besitzt deren nur zwei (Mexiko 471 000, Guadalajara 119 000). Die große Zahl der Kleinstädte (nahezu 1000) erklärt sich aus der Notwendigkeit zahlreicher Marktplätze; auch zwingt die Wasserarmut des Nordens und die Unsicherheit mancher Landstriche die Landbevölkerung zum Teil zu engerer, städtischer Zusammendrängung. Demgemäß spiegelt die Verteilung der Städte im ganzen die Dichte der ländlichen Bevölkerung wider: das zentrale Hochland ist dichter städtisch besiedelt als der trockene Norden und der tropische Süden und diese Regionen haben wieder mehr Städte als der öde Nordwesten. Der verkehrsvermittelnden Eigenschaft des atlantischen Hochlandabfalls entspricht eine im Verhältnis zu ihrer sonstigen Siedlungseignung große Dichte an städtischen Siedlungen (Orizaba, Jalapa, Cordoba, Tejiutlan). Dagegen erscheinen die bedeutenderen Hafenplätze, Tam-

pico und Veracruz auf der atlantischen, Acapulco, Mazatlan und Guaymas auf der pazifischen Seite aus naheliegenden Gründen auffällig vereinsamt.

**Über die Sierra Perija zu den Ölfeldern am Rio de Oro.** (*H. Case Willcox, An exploration on the Rio de Oro, Colombia-Venezuela; The Geographical Review* 11, 372, 1921.) Die in unseren Atlanten *Sierra Perija*, an Ort und Stelle streckenweise verschieden benannte Kette, der mittlere Strang des nördlichsten Andenabschnittes, der den Magdalenenstrom von der Maracaibolagune und Kolumbien von Venezuela scheidet, war seit der Durchquerung durch den Weiserschen Feldhauptmann *Alfinger* (um 1530) wegen der feindseligen Haltung seiner Bewohner und der wirtschaftlichen Nutzlosigkeit des Gebietes bis in unsere Tage *terra incognita* geblieben. Neuerdings hat die Aufindung von Ölfeldern diese abgelegene Region zu einem Brennpunkte weltwirtschaftlichen Interesses erhoben. Die nordamerikanische Ölindustrie hat in ihrem Streben nach Monopolisierung sämtlicher Öquellen der Erde auch die kolumbischen in Gestalt von Konzessionen an sich gebracht. Die von der Colombian Petrol Company auszubeutenden Ölfelder am Rio de Oro liegen nun östlich der genannten Kette, auf politisch zwar kolumbischem, wirtschaftsgeographisch aber venezuelischem Gebiete. Um sich vom Transporte über das letztere unabhängig zu machen, ist es erforderlich, die Ölfelder durch Maultierpfad und Röhrenleitung über die Sierra Perija hinweg mit dem Wasserweg des Magdalenenstromes zu verbinden. Hierfür eine Route ausfindig zu machen, unternahm *H. Case Willcox* 1920 eine Expedition, die, abgesehen von der Erfüllung ihres Zweckes, von hohem Interesse ist, weil sie die bisher nur von ferne geschaute Kette (z. B. von *Sievers*) längs eines Profils entschleierte und die Hydrographie des oberen Rio de Oro aufgehellte hat. Von einem Ingenieur, einem Dutzend Neuspaniern und einer Meute von Hunden — gegen Überfälle — begleitet, bediente sich *Willcox* streckenweis einer halbsagenhaften, vor Jahrzehnten angelegten, längst verödeten Viehtrift über die Sierra, wodurch er die durch Weghindernisse — Schluchten —, durch Hunger, Regen und Hochwasser mühselige und aufreibende, zuletzt auf einem Floße bewerkstelligte Reise kürzen konnte. Die Nebelregion der sanftgeformten, in rund 1800 m in zahlreichen Erhebungen gipfelnden Kette trägt triefendes, moosbedecktes, verworrenes Dickicht (*loma*). Unterhalb 1100 m beginnt dichter Wald. Nach dem Austritt aus der Kette zeigten sich gelegentlich weithin offene ebene Llanos, die, ostwärts mit gigantischen *Bombaczeiba*-Beständen gemengt, herrschend sind. An Tieren fielen auf: Tapire, Wildschweine, Reh- oder Hochwild (deer), Affen und Vogelwild. Die Moskitenplage war am größten zwischen 500 und 300 m; unterhalb dieser Höhen schränken die kühlen Nächte des flachen Landes sie ein. Der Fluß ist fischreich und birgt viele Krokodile, deren Vorhandensein die Reise etwas erschwerte; ihren auf den Strand abgelegten Eiern stellen die Eingeborenen nach. Die Expedition fiel ungünstigerweise in die zweite der beiden Regenzeiten dieser Breite (Mitte April bis Mitte Mai, Mitte September bis Mitte November; östlich der Sierra etwas verspätet einsetzend). Feindliche Zusammenstöße hatte sie nicht zu bestehen; die wenigen gesichteten Indianer wurden umgangen. Außer verlassenem Hütten, Fischersiedlungen wurde eine offenbar stark benutzte, den Fluß querende Straße angetroffen. Die Rückkehr erfolgte über Venezuela.



**Über den Ursprung der südaustralischen Salzlager.** (*Origin of the Salt Deposits of South Australia*; The Geographical Review 12, 142, 1922.) Salz und salziges Grundwasser sind in Südaustralien weit verbreitet. An den Stätten des Abbaus, unfern der Küste tritt er in seichten periodischen Seebecken (playas) auf, die nach dem alljährlichen Austrocknen von einer 1,5 bis 9 cm mächtigen Salzkruste bedeckt sind. Man nahm bisher an, daß das Salz während der Regenzeit aus benachbarten Steinsalzlagerstätten durch das Grundwasser ausgelaugt werde oder man hielt es für „fossiles“, in tertiären Meeresablagerungen erhalten gebliebenes Salz. Ist für keine der beiden Anschauungen der geologische Nachweis zu erbringen, so spricht gegen die zweite auch noch die Porosität und leichte Auslaugbarkeit der Schichten. Nimmehr erklärt *Lockhart Jack* die Salzlager für klimatisch bedingt, „zyklisch“ entstanden, d. h. durch die Luftzirkulation vom Meere zum Lande verursacht. Die herrschenden Südwinde sollen die in der Atmosphäre über der See enthaltenen Salze landeinwärts führen, wo sie — vergesellschaftet mit Gips — durch die häufigen Sprühregen der Regenzeit zu Boden geschlagen und unter der Wirkung der Trockenverdunstung angereichert werden.

**Über völligen Pflanzenmangel in Wüsten.** (*Vegetationless areas in the Libyan desert*; The Geographical Review 12, 138, 1922.) Völlige vegetationslose Gegenden sind innerhalb der Wüsten verhältnismäßig sehr selten. Am bekanntesten sind solche aus der Atakama im chilenisch-peruanischen Litorale. An zweiter Stelle scheint die libysche Wüste zu stehen, wo neuerdings *Mac Dougal* auf seiner Reise nach der Dahkla-Oase absolut pflanzenleeres Gelände querte und wo *Hamshaw Thomas* 45 km nordwestlich Kairo entsprechende Beobachtungen zum Gegenstande einer Studie über die Standortbedingungen der Vegetation macht. Er fand in einem von windgeschliffenen Kiesen und gelegentlichen Dünen bedeckten Plateau während der trockenen Jahreszeit nicht die Spur einer Pflanze und sah nur während der Regenzeit (Januar bis April) auf sandigen Flecken einige wenige perennierende Pflanzen erscheinen. Er schreibt diese selbst für Wüsten außerordentliche Beschränkung der Vegetation der extremen Trockenheit der Luft, der bedeutenden Erhitzung der Quarzgerölle und der Ungunst der Bodenzusammensetzung zu.

**Die Draperiewälder in Hawaii.** (*The tapestry forests of Hawaii*; the Geographical Review, New York, 10, 270, 1920.) Mit diesem Namen bezeichnet *Vaughan Mac Caughey* den Wald, welcher die höheren Gehängeabschnitte der hawaiischen Vulkanberge auszeichnet und der mit seiner einförmigen kleinblättrig glänzenden Laubmasse, in die anders getönte Kronen eingestreut sind, wie ein über die Böschung ausgebreiteter gewirkter Wandteppich erscheint. Der Standort ist mit einer Neigung von 40—80°, im Mittel von 50—60° überaus steil und seiner Höhenlage entsprechend von Niederschlägen stark befeuchtet. Unter der Wirkung der Steilheit und im Kampf gegen den Wind haben die Bäume, die sich aus einer dichten Decke von Stauden und Kräutern erheben, knorrige Krüppelformen angenommen. Der durchfeuchtete Boden rutscht leicht und zwingt die Bäume zur Ausbildung eines starken, der Verankerung dienenden Wurzelwerkes, dessen sich die Eingeborenen beim Erklimmen der sonst fast unzugänglichen Wände als Leiter bedienen. Der Wald, der eine Höhenlage von 270—1500 m einnimmt, weist in den unteren Teilen fast undurchdringliche Lianendickichte und in den

oberen, über 700 m gelegenen Nebelregionen dampfende und triefende Moospolster auf. — Ähnlich sind jüngst die neuguineischen Wälder von *Behrmann* und *Detzner* beschrieben worden, auch *Skottsbergs* Schilderungen von Juan Fernandez zeigen mit denen *Vaughan Mac Caugheys* manche Übereinstimmung. Es handelt sich hier also offenbar nicht um eine örtliche, sondern, worauf ja die weit verbreiteten Grundlagen hinweisen, um eine regionale Erscheinungsform des tropischen Waldes überhaupt, um den typischen Wald der hohen niederschlagsreichen Lagen steiler, zu Bodenbewegungen neigender Gebirgshänge. Wegen ihrer nahen Beziehung zur Oberflächengestaltung hat diese Waldform ein hohes geomorphologisches Interesse; die genaue Kenntnis ihrer geographischen Verbreitung würde von Wichtigkeit für das Verständnis des an Fragen noch so reichen Reliefs der Gebirge in den feuchten Tropen sein.

B. Brandt.

## Astronomische Mitteilungen.

**Die Definition einer Nova.** (*J. G. Hagen, S. J., The Astrophysical Journal Volume 54, 229—236, 1921.*) Die neuen Sterne, Novae oder auch temporäre Sterne genannt<sup>1)</sup>, sind in photometrischer Beziehung dadurch charakterisiert, daß ihre Helligkeit plötzlich in gewaltigem Ausmaße, ja zuweilen bis zum Millionenfachen der früheren anwächst, um dann relativ langsam unter beständigen Fluktuationen wieder abzunehmen. Die mehr oder weniger periodischen Schwankungen auf dem absteigenden Aste der Helligkeitskurve haben denselben Charakter, wie er bei den Veränderlichen vom  $\delta$ -Cephei-Typus beobachtet wird; einem verhältnismäßig raschen Anstieg der Helligkeit folgt ein langsamer Abfall. Die allgemeine Helligkeitsabnahme wird im Laufe der Zeit kleiner und kleiner; gleichzeitig werden auch die Schwankungen unmerklich und verschwinden schließlich fast ganz.

Diese rein formale, sich lediglich auf die äußeren Merkmale des Lichtwechsels stützende Definition einer Nova geht im wesentlichen auf *Newton* (*Principia mathematica* ed. 1760) zurück; sie hat sich zwei Jahrhunderte lang behaupten können. Erst die Anwendung spektralanalytischer Methoden auf die neuen Sterne wies uns neuerdings den Weg zu einer präziseren Charakteristik nach ihrem Spektrum; gleichzeitig verhalf sie uns dazu, in den letzten Jahrzehnten eine Reihe von lichtschwachen, sogenannten teleskopischen Novae aufzufinden, die wir sonst nicht als solche erkannt hätten.

Im ersten Stadium der Nova, kurz vor Erreichung des Helligkeitsmaximums, besteht das Spektrum aus einem kontinuierlichen Untergrunde, der von zahlreichen kräftigen Absorptionsstreifen durchzogen ist. Die dunklen Linien, dem Wasserstoff, Helium, Calcium, Titan, Eisen und noch anderen Elementen angehörig, sind in den Spektren der Novae gegenüber ihrer normalen Lage sehr stark nach dem Violett verschoben, niemals aber nach der entgegengesetzten Richtung. Diese Violettverschiebung ist also ein erstes Charakteristikum für die neuen Sterne.

Das nächste Stadium der Novaentwicklung, zusammenfallend mit dem Helligkeitsmaximum und dem darauf folgenden Abstieg, zeigt ein bis weit ins Ultraviolett hin lichtstarkes kontinuierliches Spektrum, das

<sup>1)</sup> Zur allgemeinen Orientierung über die neuen Sterne verweise ich auf den Aufsatz von Professor Dr. P. Guthnick „Nova Aquilae und andere neue Sterne“ in Jahrgang 6, 1918, 593—598 dieser Zeitschrift.



mit abnehmender Helligkeit gleichfalls schwächer wird. Die Schwankungen sind für die photographisch wirksamen Strahlen durchschnittlich größer als für die visuellen. Neben den Absorptionsstreifen des Wasserstoffs, Heliums und anderer metallischer Elemente haben *Stratton* und *Newall* im Spektrum der Nova Geminorum 2 solche des Sauerstoffs und Stickstoffs nachgewiesen. Die Absorptionsstreifen, insbesondere des Wasserstoffs, bestehen zeitweise aus mehreren Komponenten mit großen Verschiebungen nach dem Violett. Die Linien sind um so verwaschener und breiter, je stärker sie nach dem Violett verschoben sind. Als Dopplereffekt aufgefaßt, ergibt sich aus der Verschiebung eine zeitliche Zunahme der Geschwindigkeit der absorbierenden Gase. Im Laufe der Entwicklung verschwinden zunächst die brechbareren Serien der Absorptionsstreifen und schließlich alle insgesamt. Für das zweite Stadium ist weiterhin besonders charakteristisch das Auftreten von breiten Emissionsbanden, vor allem des Wasserstoffs, an den roten Enden der Absorptionen.

Das dritte sogenannte Nebelstadium wird eingeleitet durch das Auftreten des Emissionsbandes bei  $\lambda$  4640, dem die bekannten in den Spektren der Gasnebel sich wiederfindenden sogenannten Hauptnebellinien bei  $\lambda$  5007, 4959, 4363 und noch andere weiter im Ultraviolett liegende helle Banden folgen. Das kontinuierliche Spektrum ist relativ lichtschwach; die intensiv hellen Emissionsbanden des Wasserstoffs und die Nebellinien geben dem Spektrum das charakteristische Gepräge. In diesem Stadium ist die Übereinstimmung des Novaspektrums mit demjenigen der Gasnebel eine ziemlich vollkommene.

Im letzten Stadium fehlen die früher so intensiv hellen Hauptnebellinien; es sind nachgewiesen die Wasserstoffemissionen und noch einige andere, von denen die bei  $\lambda$  4688 liegende, dem ionisierten Helium zugehörig, besonders charakteristisch für dies letzte Stadium der Nova ist. Die Intensität der Emissionsbanden ist gegenüber dem vorausgegangenen Nebelstadium relativ zu demjenigen des kontinuierlichen Untergrundes stark zurückgegangen. Das Novaspektrum hat den Charakter des Nebelspektrums verloren und ähnelt eher dem eines O- oder Wolf-Rayet-Sterns.

Wenn auch durch den Spektralcharakter eine ziemlich sichere und präzise Definition einer Nova gegeben ist, so hat auch sie nur eine rein formale, sich wieder nur auf die äußeren Merkmale des Spektrums stützende Bedeutung. Irgendwelchen tieferen Einblick in die physikalischen Verhältnisse, besonders in Beziehung auf die Ursachen der Veränderungen gewährt sie nicht. Nun hat *J. G. Hagen* im *Astrophysical Journal* Vol. 54, 229—236, eine Definition für die neuen Sterne vorgeschlagen, die dem bestehenden Mangel abzuweichen versucht, gleichzeitig aber eine enge physische Verwandtschaft mit den O-Sternen, den planetarischen Nebeln, mit einigen unregelmäßigen Veränderlichen und nicht zuletzt mit den Cepheiden nachweist.

Indem diese Definition der von zahlreichen Beobachtern bei den neuen Sternen festgestellten Nebelhülle Rechnung trägt, stützt sie sich zunächst auf die bekannte Theorie von *Seeliger*, daß die neuen Sterne durch Zusammenstöße mit kosmischen Wolken oder Staubbmassen entstanden sind. *Hagen* ergänzt oder spezifiziert diese Seeligersche Hypothese in gewissem Sinne durch Einführung des Begriffes des „kometarischen Nebels“.

Langjährige Beobachtungen auf der vatikanischen Sternwarte hatten nämlich *Hagen* zu der Einsicht geführt, daß der ganze für uns sichtbare Himmel mit nichtleuchtenden Nebelmassen überzogen ist<sup>2)</sup>. Gleichwie ein Komet bei Annäherung an die Sonne, d. h. im Perihel seiner Bahn vielfach eine gewaltige Helligkeit entwickelt, so nimmt auch *Hagen* von diesen dunklen kosmischen Nebelmassen an, daß in ihnen eine Leuchterscheinung erregt wird, sobald sie in die Nähe eines wie die Sonne leuchtenden Sternes treten. Einen Nebel von diesen besonderen Eigenschaften bezeichnet *Hagen* als „kometarischen Nebel“. Im übrigen gleicht rein geometrisch der zeitliche Helligkeitsverlauf eines Kometen in vieler Hinsicht demjenigen eines neuen Sternes, so daß ein nur einmal erscheinender Komet nicht ohne Grund als ein neuer Stern unseres Sonnensystems anzusprechen ist; hinsichtlich des Spektrums zeigen sich indes bei beiden wesentliche Verschiedenheiten.

Gemäß dieser spezifizierten Seeligerschen Hypothese eines „kometarischen Nebels“ sind nach *Hagen* die  $\delta$ -Cephei-Veränderlichen enge Doppelsternsysteme, deren eine Komponente der kometarische Nebel und deren andere Komponente ein Stern wie die Sonne, aber von relativ kleiner Masse ist. Der Stern umkreist den Nebel in einer stark exzentrischen Bahn; in der Nähe des Perihels der Bahn wird der kometarische Nebel infolge der nahen Nachbarschaft des leuchtenden Sternes stärker zum Leuchten angeregt als im Aphel; zugleich ist die Leuchterscheinung wegen des im Verhältnis zum Nebel kleinen Sterns nur lokalen Charakters.

Diese für die Cepheiden gegebene Erklärung läßt sich nun sinngemäß auf verschiedene andere Klassen von Veränderlichen, insbesondere auf die neuen Sterne übertragen; die Art der Veränderlichkeit hängt wesentlich von der Bahn ab, welche der Stern relativ zu dem kometarischen Nebel beschreibt.

1. Der Stern geht verhältnismäßig nahe an dem Nebel vorbei, jedoch ohne daß ein Kontakt mit letzterem stattfindet; die Geschwindigkeit relativ zum Nebel sei hyperbolischen Charakters. In der Nebelnähe wird der Strahlungseffekt des Sterns ein Erleuchten der benachbarten Teile des Nebels hervorrufen. Es wird ein Maximum der Helligkeit eintreten, aber ohne Wiederholung. Daß bisher derartige Veränderliche nicht einwandfrei nachgewiesen sind, liegt nach Mutmaßung von *Hagen* an der geringen Helligkeitsänderung und an der verhältnismäßig kurzen Dauer der Lichteruption. *Hagen* vermutet, daß die sogenannten teleskopischen Novae wie T Bootis und U Scorpii dieser Klasse angehören.

2. Der Stern streift den kosmischen Nebel entweder nur einmal oder auch öfter; es findet eine einmalige oder eine in ungleichmäßigen Zeitabständen erfolgende Aufhellung von wesentlich größerem Betrage statt. Die unregelmäßigen Veränderlichen wie P Cygni, T Tauri und P Pyxidis, welche schon nach ihrem Spektrum zu urteilen mit den neuen Sternen nahe verwandt sind, haben wir zu dieser Gruppe zu zählen.

3. Der Stern dringt in den Nebel ein mit einer Geschwindigkeit, die hinreichend groß ist, um den durch den Nebel gebotenen Widerstand zu überwinden und sich relativ zu letzterem in einer hyperbolischen

<sup>2)</sup> Vgl. den Aufsatz von *J. G. Hagen* „Milchstraße und Nebelstraße“ in „Naturwissenschaften“, 9. Jahrgang, 1921, 935—938.



Bahn zu bewegen. Dieser Fall entspricht dem gewöhnlichen Typ der neuen Sterne wie *B Cassiopeiae* und *T Aurigae*. Die gewaltige Helligkeitszunahme im ersten Stadium der Nova, die darauf folgende langsame Abnahme in der Helligkeit mit den mehr oder weniger periodischen Schwankungen, sowie der wechselnde Charakter des Spektrums haben durch die Untersuchungen von *Seeliger* und *Halm*<sup>3)</sup> auf Grund der Hypothese eines dunklen Himmelskörpers, der in eine kosmische Wolke oder Staubmasse eindringt, ihre Erklärung gefunden. Es macht natürlich keine Schwierigkeiten, die Deutung zu übertragen auf den Spezialfall, daß ein leuchtender Stern in einen kometarischen Nebel eindringt. In diesem Falle wird die starke Helligkeitszunahme im ersten Stadium nicht allein von der beim Eindringen in den Nebel entstandenen Erwärmung und räumlichen Expansion des Sterns herrühren, sondern auch eine Wirkung der kometarischen Strahlung des Nebels sein. Das verschiedenartige Aussehen des aufsteigenden Astes der Helligkeitskurve läßt sich nach *Hagen* in einfacher Weise deuten, wenn man die Richtung, aus welcher der Stern, von der Erde aus gesehen, in den Nebel eindringt, berücksichtigt. Erfolgt der Eintritt auf der uns zugewandten Seite des Nebels, so wird die dem eigentlichen Kontakt vorausgehende Erleuchtung des Nebels sichtbar, während sie auf der abgewandten Seite durch den Nebel verdeckt wird.

Bei dem Durchgang des Sterns durch den Nebel wird das innere Gleichgewicht des Nebels und insbesondere auch des Sterns (worauf hinzuweisen *Hagen* in seinem Aufsatz unterläßt) gestört. Der Stern wird expandieren, über die dem neuen Zustande entsprechende Gleichgewichtslage hinauschießen und sich dann wieder kontrahieren. Er wird Pulsationen ausführen, die sich in Oszillationen der Lichtkurve auf dem absteigenden Ast kundtun. In diesem Stadium der Nova wird die von *Eddington* aufgestellte Pulsationstheorie Anwendung finden; hierbei sind nicht wie bei dem Cepheidenproblem die Pulsationen als freie, sondern als erzwungene Schwingungen um einen Gleichgewichtszustand zu betrachten.

Was noch besonders die Änderungen im Spektrum anbetrifft, so ist anzunehmen, daß der Stern nach Verlassen des Nebels sich mit einem Teil der kometarischen Nebelmaterie umgeben hat. Demgemäß sind bei einer Novaerscheinung 3 Stadien zu unterscheiden:

a) Vor dem Lichtausbruch ist die Nova ein lichtschwaches oder ein überhaupt nicht sicher nachweisbares Sternchen.

b) Nach dem Eindringen der Nova in den kometarischen Nebel ist dieselbe im Zustande eines Gigantennebels, der einen glänzenden Sternkern umgibt.

c) Nach dem Austritt der Nova aus dem Nebel hat sich der Stern mit einer Nebelhülle umgeben.

Der Zustand b entspricht dem eigentlichen Novastadium. Im Zustand c ist die Nova wieder von der Wolke getrennt; sie ist ein O- oder Wolf-Rayet-Stern geworden. *Adams* und *Pease* haben im *Astrophysical Journal* 40, 297, 1914, die Vermutung ausgesprochen, daß das Verschwinden der Hauptnebellinien mit dem Emporsteigen der Nova aus dem Nebel zusammenfällt.

<sup>3)</sup> *Astronomische Nachrichten* 181, 81, 1909, und *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* 25, 513—552, 1905.

4. Verläßt der in den kometarischen Nebel eingedrungene Stern diesen nicht mit hyperbolischer Geschwindigkeit, so ist er dann für ewige Zeiten von dem Nebel eingefangen. Selbst wenn er wieder aus dem Nebel heraustreten und einen Teil einer elliptischen Bahn beschreiben sollte, so müßte er doch wieder in die Wolke zurückkehren und schließlich infolge des widerstehenden Mittels in einer spiralförmigen Bahn dem Schwerpunkt der Wolke zustreben. Andererseits, wenn Stern und Wolke sich in Richtungen bewegen, die einen spitzen Winkel miteinander bilden, und wenn zudem die Relativgeschwindigkeit beider gegeneinander so klein ist, daß Stern und Nebel einander nicht überholen können, auch dann wird der Stern von dem kometarischen Nebel eingefangen; er wird sein Nebelkern. In der so gekennzeichneten Art ist nach *Hagen* die Entstehungsweise der planetarischen Nebel zu deuten. Der Unterschied zwischen einem O-Stern und einem planetarischen Nebel ist hiernach mehr quantitativer Natur; der O-Stern führt nur einen Teil der Nebelmaterie mit sich, der planetarische Nebel ist der ganze Nebel, welcher den Stern umhüllt.

Der enge physische Zusammenhang zwischen den Novae, den planetarischen Nebeln und den O-Sternen tritt nach dieser Theorie in prägnanter Weise hervor; fast alle bisherigen Beobachtungstatsachen lassen sich durch jene erklären. Doch sind noch einige wichtig erscheinende Punkte kurz zu deuten:

Das relativ seltene Auftreten dieser Art von Himmelskörpern hat bereits früher vermuten lassen, daß diese nicht in die allgemeine Entwicklungsreihe der B-, A-, F-, G-, K-, M-Sterne einzuordnen sind. Nach der Theorie von *Hagen* sind sie als Produkte außergewöhnlicher Ereignisse, d. h. Zusammenstöße von Sternen und Nebeln aufzufassen.

Die Radialgeschwindigkeit der planetarischen Nebel ist nach Beobachtungen des Lickobservatoriums durchschnittlich mehr als doppelt so groß als bei den Sternen. Daraus ist nun nicht zu schließen, daß die kometarischen Nebel sich schneller bewegen als die Sterne; vielmehr ist das Auftreten relativ großer Geschwindigkeiten bei den planetarischen Nebeln einfach eine Folge davon, daß die Chancen für die Zusammenstöße um so größer sind, je größer die Geschwindigkeit der Sterne und Nebel ist. Scheinbar steht dies in Widerspruch mit der Tatsache, daß die Eigenbewegungen der Novae klein sind. Da nun im Falle einer Nova Stern und Nebel sich mit nahe entgegengesetzten Geschwindigkeiten durch den Weltenraum bewegen, so wird naturgemäß infolge des widerstehenden Mittels ein Teil ihrer in Wärme umgewandelten Bewegungsenergie verloren gehen. Dies wird nicht eintreten bei den planetarischen Nebeln, wo Geschwindigkeit von Nebel und Stern mehr oder weniger parallel gerichtet sind.

Zusammenfassend schlägt *Hagen* am Schluß seines Aufsatzes folgende Definition einer Nova vor, indem er den Begriff eines neuen Sterns enger als sonst faßt und nicht die permanenten Stadien der planetarischen Nebel und der O-Sterne mit einschließt:

Eine Nova ist ein kometarischer Nebel, der sich zeitweise in enger Nachbarschaft oder in Kontakt mit einem hellen Stern befindet.

*Alfred Brill.*



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.  
Copyright 1922 by Julius Springer in Berlin.

Heft 33. (Seite 703—726)

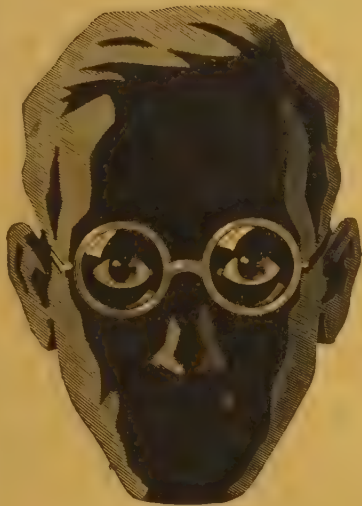
18. August 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Haemophagie und Symbiose. Von *Paul Buchner, München.* (Mit 12 Abbildungen.) S. 703.  
Die Süßkraft der künstlichen Süßstoffe. (Mit 2 Abbildungen.) Von *Friedrich Auerbach, Berlin.* S. 710.  
Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie. Von *C. Pulfrich, Jena.* (Mit 10 Abbildungen.) S. 714. (Fortsetzung.)  
Besprechungen:  
Pringsheim, Peter, Fluoreszenz und Phosphoreszenz im Lichte der neueren Atomtheorie. Von *W. Grotrian, Göttingen.* S. 722.

Mitteilungen aus verschiedenen biologischen Gebieten. S. 723—725.  
Über die Artbastarde und die Vererbung ihrer Kennzeichen. Über das Becken, den Schultergürtel und einige andere Teile der Londoner *Archaeopteryx*. Bodenfauna und Fischertrag in Seen. Über Nahrung und Wachstum der Fische.  
Astronomische Mitteilungen. S. 725—726.  
The Wave-Length in astronomical Interferometer Measurements. An Investigation of the Constancy in Wave-Length of the Atmospheric and Solar Lines.



# GOERZ

## Largon-Brillengläser

übertreffen an Sehschärfe die bisher besten modernen Gläser. Sie bieten dem Auge bei zwangsfreiem (Akkommodationsruhe) schrägen Durchblick unter  $30^\circ$  zur Achse etwa doppelt so scharfe Bilder, als die punktuell abbildenden Gläser.

Bezug durch die Optiker. Druckschriften kostenfrei.

Optische Anstalt C. P. Goerz A.-G. Berlin-Friedenau 91.

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 100.— für das dritte Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 9.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 9.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6530-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20120 Julius Springer,  
Konten: für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 18935 Julius Springer.

## Die großen Handbücher



von Abderhalden, Abegg, Bredig, Dammer  
Doelter, Gmelin-Krauth, Hertwig, Kolle-Wasser-  
mann, Lueger, Lunge, Muspratt, Richter,  
Rubner, Ullmann, Winkelmann u. a. **zur Er-  
leichterung der Anschaffung**  
gegen bequeme Monats- oder Quartals-  
raten von (258)

**Hermann Meusser, Buchhandlung**  
Berlin W 57/9, Potsdamer Strasse 75

## Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

**zu kaufen gesucht.** Angebote unter  
Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

## Über den Süßstoff, seine Darstellung und Eigenschaften.

Von Dr. Ludwig Heß.

Zweite, erweiterte Auflage (II, 48 S.) 1921.

Preis M. 10.— (und Teuerungszuschlag)

(Zu beziehen von dem Verlag Julius Springer in Berlin W 9.)

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

## Kurzes Lehrbuch der Physiolo- gischen Chemie.

Von Dr. Paul Hári, o. ö.  
Professor der physiologischen und pathologischen Chemie  
an der Universität Budapest. Zweite, verbesserte Auflage.  
Mit 6 Textabbildungen. (X, 354 S.) 1922. Geb. Preis M. 99.—

## Lehrbuch der physiologischen Chemie.

Unter Mitwirkung von Prof. S. G. Hedin in  
Upsala, Prof. Dr. J. E. Johansson in Stockholm und Prof.  
J. Thunberg in Lund. Herausgegeben von Olof Ham-  
marsten, ehem. Prof. der medizinischen und physiologischen  
Chemie an der Universität Upsala. Neunte, völlig umgear-  
beitete Auflage. Zwei Teile. Mit 1 Spektraltafel. (VIII, 830 S.)  
1922. (Verlag von J. F. Bergmann in München.) Preis M. 247.50;  
gebunden M. 315.—



Führende tüdendeutsche Wochen-  
schrift (reich illustr.) für Jagd,  
Kynologie, Forstwirtschaft, Schieß-  
weisen u. Fälscherel. „Der Deutsche  
Jäger“, München, Briener-  
straße 9. Älteste deutsche Jagd-  
zeitung. Bezugsmeldung bei  
dem zuständigen Postamt, Brief-  
träger oder bei jeder Buchhand-  
lung. Nur M. 9.50 für einen  
Monat oder M. 28.50 für ein  
Vierteljahr, unter Kreuzband  
M. 39.— vierteljähr., nach dem  
valutafaktischen Ausland M. 100.—.  
Inferate wirken außerordentlich.

### Interessante Bücher:

Frau Nadas Belz u. a. Jagd-  
geschichten u. Abenteuer aus d.  
nahen Orient von Dr. Benzoldt,  
broch. 15 M., geb. 25 M. **Grüne  
Brüche**, Geschichten u. Gesal-  
ten aus Berg u. Wald vom Mit-  
arbeiterkreis d. Deutsch. Jä-  
gers, broch. 15 M., geb. 25 M.  
**Almrausch**, Jagd- u. Bergler-  
Erzählung, v. M. Mert-Buch-  
berg, broch. 15 M., geb. 25 M.  
Frisch Druckerei: **Als  
Jungast am Herrgotts-  
garten**, broch. 15 M., geb. 25 M.  
A. von Seagont: **Die Auf-  
schreibungen des Shaluth  
W. fenberger**, I. b. Hof-  
jagdgeschichte, reich illustriert  
von Prof. Ludwig Kohlwein.  
In Prachteinband 25 M. netto.  
In Vorbereitung: **Arthur  
Schubart: Herrenrecht**,  
Einband u. Illustr. v. Prof.  
L. Kohlwein. Durch Buchhand-  
lungen oder durch den Verlag  
**F. C. Mayer, G. m. b. H.**  
München, Brienerstr. 6.



## Haemophagie und Symbiose<sup>1)</sup>.

Von Paul Buchner, München.

Nachdem ich vor einiger Zeit an dieser Stelle den augenblicklichen Stand des interessanten Problems der Leuchtsymbiose geschildert habe, möchte ich heute das Augenmerk auch fernerstehender Kreise auf ein weiteres Kapitel der Symbiosieforschung lenken, das erst in allerjüngster Zeit in seinem ganzen Umfang erkannt wurde, so daß der diesbezügliche Abschnitt meines Buches „über Tier und Pflanze in intrazellulärer Symbiose“ (1921) keineswegs mehr als erschöpfend betrachtet werden kann. Es handelt sich um die Erscheinung, daß bei der überwältigenden Mehrzahl — wenn nicht bei allen — ausschließlich Blut von Wirbeltieren zu sich nehmenden Tieren ein ständiges, meist intrazelluläres und auf eigene Organe des Wirtes beschränktes Vorkommen pflanzlicher Mikroorganismen festgestellt wurde, und um die Frage, welche biologische Bedeutung dem zuzuschreiben sei.

Die ersten Beobachtungen in dieser Richtung verdanken wir *Schaudinn* (1914), der bei den Schnaken *Culex* und *Anopheles* in den Blindsäcken des Ösophagus ständig freie Pilze auffand, deren systematische Stellung er zwar nicht endgültig festlegen konnte, von denen er sich aber überzeuete, daß sie beim Saugakte vorübergehend in die Wunde übergehen, um hierauf wieder eingesogen zu werden und das im Mitteldarm sich sammelnde Blut reichlich zu durchsetzen. Das ständige Zusammenleben von Wirt und Symbiont wird durch eine Infektion der Eier gewährleistet; im einzelnen die Schicksale des pflanzlichen Partners in der Larve und Puppe aufzudecken, wird Aufgabe einer dringend erwünschten Nachuntersuchung sein.

Da die Befunde *Schaudinns* bereits deutlich darauf hinwiesen, daß hier die Symbiose mit der Blutnahrung ursächlich verknüpft ist, wandte ich mein Augenmerk weiteren Blutsaugern zu und entdeckte so zunächst die wahre Natur eines eigentümlichen Organes der Kopf-, Kleider- und Filzläuse, das schon dem meisterhaften Beobachter und Zergliederer *Swammerdam* aufgefallen war, der sogenannten Magenscheibe, einer kleinen, im Leben gelblich gefärbten Zellgruppe, die dem Mitteldarm auf der Bauchseite dicht anliegt, ja nischenartig in ihn eingesenkt ist, ohne aber in direkter Kommunikation mit dem Darm-lumen zu stehen. Hier ist das „Mycetom“, das

den symbiontischen Pilzen als Wohnsitz dient, von wurst- und schlauchförmigen Organismen besiedelt, die den Eindruck von Bakterien machen, die ähnlich wie in den Leguminosenknöllchen zu Bakteroiden entartet sind<sup>2)</sup>. Den auf Pferden, Schweinen und anderen Tieren lebenden Hämato-pinusarten fehlen derartige geschlossene Organe, die Symbionten hausen in besonderen Zellen, die über den ganzen Mitteldarm zerstreut zwischen die verdauenden Epithelzellen eingekleilt sind. Sehr eigenartig gestaltet sich die Übertragungsweise. Schon vorher bekannte kugelige Anschwellungen jeweils am Übergang der beiden Ovarien in den Eileiter bekunden sich als weitere „Filialmycetome“, von denen aus sich zu den jeweils letzten und ältesten Eiern eine Anzahl Symbionten begeben, so daß jedes abgelegte Ei am hinteren Pole in seinem Dotter eine stattliche Kugel dicht gedrängter Symbionten enthält. Bevor ich meinen Befund veröffentlichte (1920), erschien bereits eine kurze Mitteilung von *Sikora* (1919), die ganz im gleichen Sinne lautete, wenn die Verfasserin auch über die Infektionsverhältnisse keine Klarheit gewinnen konnte, so daß ihr die Priorität der interessanten Entdeckung zukommt.

Die nächsten Objekte, denen ich mich nun zuwandte, waren die Bettwanzen. Ich war nicht wenig überrascht, als sich ergab, daß auch in ihnen, die so oft Gegenstand der Untersuchung waren und insbesondere auch Bakteriologen beschäftigten, Mycetome zu finden waren, von deren Existenz man — im Gegensatz zur Magenscheibe der Pedikuliden — überhaupt noch keine Kenntnis hatte. Es handelt sich hier um annähernd ovale, scharfumschriebene Gebilde, die an bestimmter Stelle im Gebiet des dritten Abdominal-Segmentes liegen. An Färbung und Habitus dem umgebenden Fettgewebe sehr ähnlich und deshalb bisher übersehen, unterscheiden sie sich histologisch durchaus von diesem, denn sie sind aus riesenhaften mehrkernigen Zellen zusammengesetzt, die keinerlei Fett enthalten, wohl aber neben Granulationen, deren Natur noch der Klärung bedarf, zahlreiche stäbchenförmige Bakterien. Topographisch besitzen sie gewisse Beziehungen zu den Geschlechtsdrüsen, insbesondere sind sie im männlichen Geschlecht stets mit den Hoden leicht verwachsen (Fig. 1). Der symbiontische Zyklus ließ sich bei der Bettwanze lückenlos

<sup>1)</sup> Nach einem, auf der Tagung der Deutschen Zoologischen Gesellschaft in Würzburg am 8. Juni 1922 gehaltenen Vortrage.

<sup>2)</sup> Daß derartige Bakteroiden noch sonst als Infektensymbionten vorkommen, habe ich anderweitig dargelegt (vgl. *P. Buchner*, Rassen- und Bakteroidenbildung bei Hemipterensymbionten. *Biol. Zentralbl.* Bd. 42).

klarlegen. Die Infektion der Eizellen schlägt abermals ihre eigenen Wege ein, so daß die Fülle der Möglichkeiten, die wir im Laufe der letzten Jahre hier kennen gelernt haben, wieder um eine neue bereichert wird. Wie bei allen übrigen Hemipteren endet jede Eiröhre mit einer Gruppe von Nährzellen, von denen faserige, in ein einheitliches Bündel sich vereinende Stränge ausgehen, die den Sekretstrom unmittelbar in die heranwachsenden Eizellen hineinragen. Im Gegensatz zu allem bisher Bekanntgewordenen werden nun bei der Bettwanze bereits auf sehr frühen Stadien der postembryonalen Entwicklung diese Nährzellen von den Bakterien aufgesucht, die sich hier lebhaft vermehren, z. T. dichte Ballen bilden und sich auf dem Wege des Nährstranges in die Eizelle begeben. Da diese aber außerdem schon



Fig. 1. Mycetom einer Bettwanze, am Hoden hängend. Original.

auf noch viel früheren Stadien, bevor sie Beziehungen zu den Nährzellen eingegangen hatte, direkt und oft sogar sehr reichlich von Bakterien infiziert wurde, liegt hier eine doppelte Sicherung der Übertragung vor (Fig. 2).

Anfangs diffus verteilt, sammeln sich die Symbionten im älteren Ei am hinteren Ende, und bevor die Entwicklung anhebt, finden sie sich hier in sehr dünner Lage dicht unter der Oberfläche. Infolgedessen nehmen die hier sich abgrenzenden Embryonalzellen die fremden Gäste mit in sich auf und werden damit schon sehr früh zu den in der Folge die Organe aufbauenden „Mycetocyten“ gestempelt. Der ungewöhnliche Inhalt hemmt nun merkwürdigerweise keineswegs die betreffenden Elemente, sondern scheint geradezu als ein teilungserregendes Moment zu wirken. Denn die nächste wesentliche Veränderung am Embryo ist die Entstehung eines stattlichen Hügels solcher Mycetocyten, der auf späteren Stadien durch die Entfaltung des nach innen eingestülpten Keimstreifs in den Dotter versenkt und schließlich als runde Kugel völlig von der

vornehmlichen Embryonalanlage gesondert wird. Ein Blick auf die Fig. 3 wird die Verhältnisse klarer machen als viele Worte. Wenn die mediane, kugelige Mycetomanlage sich abplattet, um sich hierauf in ein rechtes und linkes Organ zu zerschneiden, geht eine einschneidende zellphysiologische Veränderung in ihr vor. Auf eine Phase mäßiger Symbiontenvermehrung und intensiver mitotischer Teilung folgt eine solche gesteigerter Bakterienvermehrung, die nun mit Teilungshemmung Hand in Hand geht und ihrerseits von Amitosen begleitetes Riesenwachstum auslöst, eine nicht nur bei vielen Mycetocyten, sondern auch bei Zellparasiten in ganz analoger Weise zur Beobachtung kommende Erscheinung.

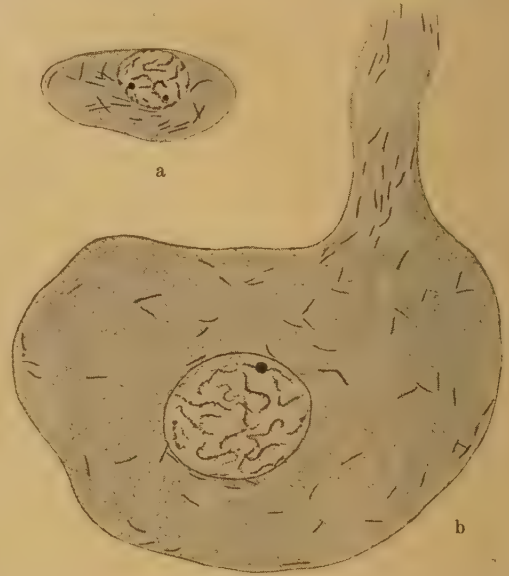


Fig. 2. Infektion des Bettwanzeneies. a) junge Ovocyte, vor der Verbindung mit dem Nährstrang, b) nach der Verbindung, beide infiziert. Original.

Während wir schon geraume Zeit wissen, daß es kein homopteres Hemipteron gibt, das nicht in komplizierter Zellsymbiose lebt, daß also das ganze Heer der großen und kleinen Zikaden, der Blattläuse, der Schildläuse, der Blattflöhe Symbiontenträger sind, kannte man von den Heteropteren bisher keine intrazellulären Symbionten. Mit der Entdeckung solcher bei *Acanthia* rückten kurze, an entlegener Stelle gemachte Mitteilungen von *Forbes* über eigentümliche, in ihrem Lumen von Bakterien erfüllte Ausstülpungen des Mitteldarmes einiger Baumwanzen in den Kreis des Interesses. Ich veranlaßte eine Schülerin, Frä. *Kuskop*, diese Bildungen eingehender zu untersuchen; dabei ergab sich nicht nur die Richtigkeit der *Forbes*schen Angaben, sondern darüber hinaus eine weite Verbreitung des Vorkommnisses und eine stufenweise zunehmende Innigkeit der Anpassung. Im einfachsten Falle ist eine magenartige Erweiterung des Darmes in konstanter Weise von dem gleichen Bakterium reich besiedelt (*Pyrrhocoris*), bei zahlreichen Arten (*Pentatoma* u. a.) begleiten den Darm eine Strecke



weit zahllose dicht gedrängte Krypten, die eigens für die in dichten Massen in ihnen lebenden Bakterien angelegt werden, bei einer dritten Gruppe endlich, die verschiedenartig gruppierte lange, drüsenähnliche Schläuche produziert (Aphanus, Gastrodes), leben die Symbionten teils in deren Lumen, teils sind sie in die Wirtszellen selbst aufgenommen worden. Wenn damit auch Acanthia ihrer Sonderstellung unter den Heteropteren entkleidet wird, lassen es die anatomischen und die Übertragungseinrichtungen, auf die hier nicht eingegangen werden kann, doch wahrscheinlich erscheinen, daß die Symbiosen dieser zumeist Pflanzensäfte und nur in zweiter Linie Wirbellosen-eiweiß zu sich nehmenden Tiere eine Erscheinung sui generis darstellen.

In die Reihe der lange Zeit völlig rätselhaften Organe, die erst durch die Symbioseforschung den

bin ich noch nicht in der Lage, bei diesem Tier den ganzen Zyklus zu schildern, da sich die Entwicklungsdauer desselben über ein Jahr erstreckt, denn man wird dabei auf interessante Regulationen stoßen müssen. Daß den geschlechtsreifen Fliegen, die sich nicht von Blut nähren, das Organ abgeht, ist schon längere Zeit bekannt und damit bereits ein wertvoller Hinweis gegeben, daß seine Entfaltung mit den spezifischen Bedingungen des Parasitismus zusammenhängt. Andererseits dürfen wir vermuten, daß ein Teil der Symbionten auch die Zeit der Verpuppung und der Einschmelzung des Organes überdauert, auf die Imago übergeht und so die Kontinuität des Zusammenlebens gewahrt bleibt. Haben wir ja auch schon anderweitig die Erfahrung gemacht, daß Insektensymbionten die durch die Histolyse ihrer Wohnstätten während der Verpuppung auftreten-



Fig. 3. Entwicklung der Mycetome der Bettwanze (die Anlage dunkler). Original.

ihnen gebührenden Platz angewiesen bekommen, ist auch das „Trachealorgan“ der Larven von *Gastrophilus equi* zu stellen, also von Tieren, die sich — in der Magenschleimhaut der Pferde verankert — ebenfalls von Blut ernähren. Es besteht aus zwei mächtigen, im Hinterende der Larve gelegenen traubenähnlichen Zellgruppen, die dank ihres besonders reichlichen Gehaltes an echtem Hämoglobin deutlich durch die Haut hindurchschimmern. In jede der riesenhaften, einkernigen Zellen tritt ein starker Tracheenast, der sich in ihr in ein reiches Endkapillarengest auf löst, so daß sich kein schöneres Objekt zur Demonstration intrazellulärer Sauerstoffversorgung denken läßt. Zerzupft man die Zellen, so wird das Gesichtsfeld überschwemmt von fädchenförmigen Bakterien. Histologisch und anatomisch haben diese Mycetocyten innige Beziehungen zum Fettkörper, in den sie kopfwärts kontinuierlich übergehen und der sich bei sorgfältiger Präparation und Entfaltung als eine regelmäßig gestaltete aus einer einzigen Zellschicht aufgebaute Platte darstellen läßt. Etwa 10 mm lang und 7 mm breit stellt das Trachealorgan das mächtigste bis jetzt bekanntgewordene Mycetom dar (Fig. 4). Leider

den Schwierigkeiten sehr wohl zu überwinden verstehen, wenn ich z. B. bei Anobien (Käfern)

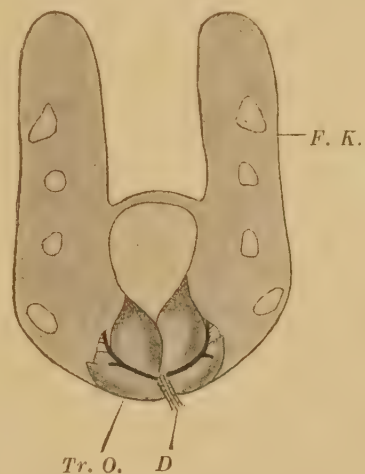


Fig. 4. Mycetom (Tr. O.) und Fettkörper (F. K.) der *Gastrophilus*larve. D = Darm ( $\frac{1}{2}$  mal vergrößert). Original.

zeigen konnte, daß die Mitteldarm bewohnenden Hefezellen vor dessen Zerstörung sich in die da-

hinter liegenden Imaginalzellen begeben, oder *Petri* bei der Olivenfliege dardat, daß symbiontische Bakterien aus dem Mitteldarmlumen rechtzeitig in eine Ausstülpung des Kopfdarmes ent-rinnen, so daß bei Larve und Imago also verschiedene Körperräume besiedelt werden. Ähnliches ist wohl auch bei *Gastrophilus* zu erwarten.

Da inzwischen von *E. Reichenow*, in dem unserem Arbeitsgebiet ein erfolgreicher Mitarbeiter erstanden ist, bei blutsaugenden Milben *Mycetome* entdeckt wurden, auf deren Schilderung wir unten näher eingehen werden, wandte ich mich



Fig. 5. Zelle aus dem Malpighischen Gefäß von *Ixodes* mit den Symbionten. Original.

endlich in jüngster Zeit auch den Zecken (*Ixodes*) zu, die ja auch dem Nichtzoologen als ein häufiger Gast der Jagdhunde und ein gelegentlicher des Menschen vertraut sind. Die Erwartung,

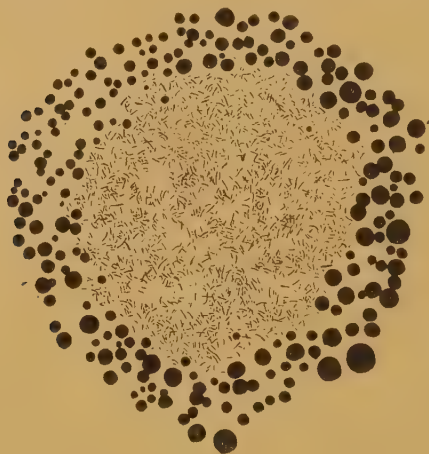


Fig. 6. Symbiontenansammlung aus dem Ei von *Ixodes*. Original.

auch bei diesen Hämophagen, die durch die Menge des aufgenommenen Blutes zu unförmlichen Säcken anschwellen, eine Bakteriensymbiose zu finden, wurde nicht getäuscht. Nur handelte es sich diesmal nicht um eigene, allseitig abgeschlossene Organe, wie bei *Acanthia* und *Gastrophilus*, sondern die Zellen der als Nieren funktionierenden Malpighischen Gefäße, die — hier im Gegensatz zu den Insekten entodermalen Ursprungs — am Ende des Mitteldarmes in diesen einmünden, dienen auf weite Strecken als Wohnsitz. Fig. 5 gibt eine Vorstellung davon, in wie dichten Massen, vielfach zu zopfähnlichen Bündeln vereinigt, die fädigen Organismen das Plas-

ma durchsetzen. Abermals werden die Eizellen von ihnen infiziert; von den noch indifferenten Zellen des Keimlagers treten sie in jugendliche Ovocyten über und sammeln sich im wachsenden Ei unter regster Vermehrung zunächst in einer ringförmigen Zone. Mit zunehmender Dotterbildung drängen sie sich aber zu einem einheitlichen runden Ballen zusammen, der wie ein Nebenkern, schon im Leben als milchweißer Fleck kenntlich, neben dem Eikern an eine ganz bestimmte Stelle zu liegen kommt (Fig. 6).

Soweit der Gang und augenblickliche Stand

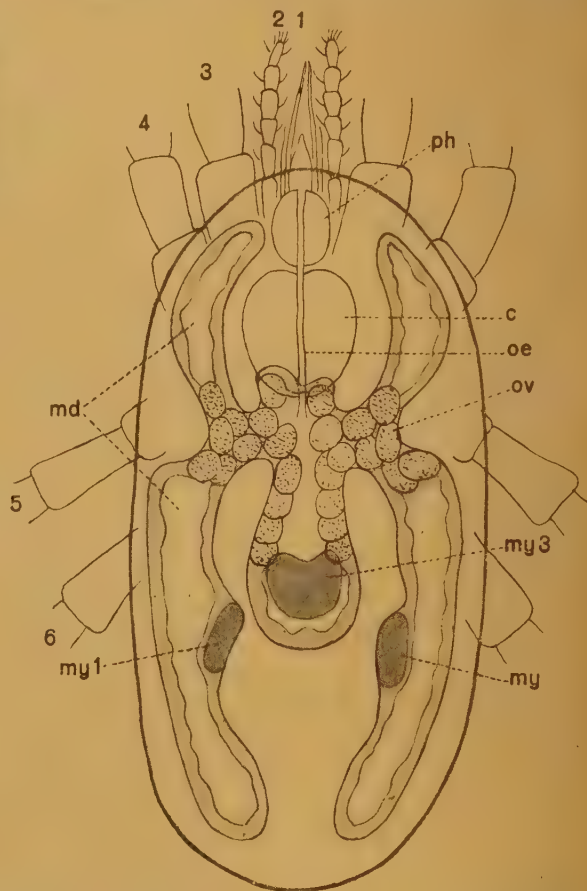


Fig. 7. *Liponyssus saurorum*, junges Weibchen. oe Ösophagus, oo Ovar, md Mitteldarm, my 1—3 die drei Mycetome. Nach *Reichenow*.

unserer eigenen morphologischen Untersuchung. Ziehen wir nun die von anderer Seite gemachten Beobachtungen noch heran, so wird sich der Leser vollends nicht des Eindrucks entziehen können, daß hier Symbiose und Hämophagie irgendwie zweckdienlich verknüpft sein müssen. Zunächst hat, wie schon erwähnt, *Reichenow* (1921, 1922) bei Milben, und zwar dem Eidechsenblut saugenden *Liponyssus saurorum* und dem auf Mäusen lebenden *L. musculi* an konstant wiederkehrenden, aber von Art zu Art verschiedenen Stellen symbiontengefüllte Zellgruppen aufgefunden, die bei jungen Tieren noch zwischen Muskularis und Darmepithel liegen, bei fortschreitendem



Verbrauch der intrazellulär verdauenden Darmzellen aber unmittelbar an das Lumen grenzen (Fig. 7). Die reifen Eizellen kommen gerade an die Rückseite dieser bei *L. saururum* in der Dreizahl vorhandenen Mycetome zu liegen und werden so auf höchst einfache Weise direkt von diesen aus infiziert. Was nun aber bei diesen Gamasiden höchst merkwürdig ist und zunächst noch der Klärung harret, ist, daß verschiedene Individuen der gleichen Spezies abweichend gestaltete Symbionten in ihren Mycetomen beherbergen (Fig. 8). Bei *L. s.* konstatierte *Reichenow* nicht weniger



Fig. 8. Einzelne Mycetocyte von *Liponyssus saururum*.  
Nach *Reichenow*.

als vier Typen, die sich deutlich durch Gestalt und Größe voneinander unterscheiden lassen, und von denen nicht selten zwei nebeneinander in einem Wirt vorkommen. Die gleichen Formen finden sich dann jeweils in den Eiern und bei allen Nachkommen. Tiere in Rovigno beherberg-

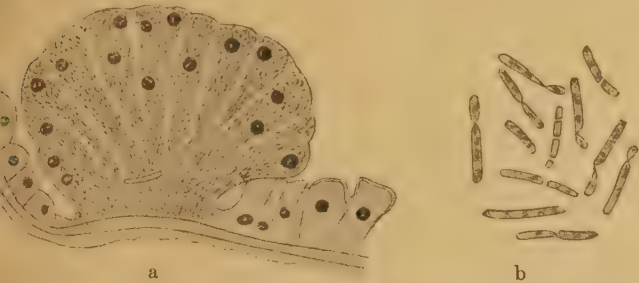


Fig. 9. a) Infizierte Darmepithelzellen von *Glossina*,  
b) Symbionten isoliert. Nach *Roubaud*.

ten andere Symbionten als Tiere aus Madrid. *Reichenow* denkt daran, daß es sich hierbei vielleicht um Anpassungen an die jeweils sehr verschiedenen Eidechsenarten handelt, die als Nahrungsquelle von *Liponyssus* aufgesucht werden. Dann würde sich der interessante Umstand ergeben, daß die Aufnahme verschiedener Symbionten von der gleichen Wirtsspezies mit den gleichen morphogenetischen Reaktionen beantwortet wird.

Auch bei den blutsaugenden Dipteren ist die Erscheinung keineswegs auf *Culiciden* und *Östriden* beschränkt. Schon *Stuhlmann* (1909) hat bei *Glossina brevipalpis*, der berühmten Tsetsefliege, merkwürdige, konstant auftretende Verdickungen des Mitteldarmepithels gesehen, die von pflanzlichen Mikroorganismen dicht erfüllt waren, und *Roubaud* danken wir eine erneute, aufschlußreiche Studie über diese Verhältnisse

(1919)<sup>3</sup>). Die Symbionten, die letzterer — ob mit Recht, sei dahingestellt — für Hefen erklärt, leben nicht nur in den stark hypertrophierten, von Tracheen durchsetzten Epithelzellen, sondern auch frei im Darmlumen, manchmal sogar in stattlichen Kulturen (Fig. 9). Daß auch in alten Puppen bereits solche Zellpolster vorhanden sind, fand schon *Stuhlmann*, aber erst *Roubaud* deckte den Zyklus einigermaßen auf. Die Glossinen bringen bereits völlig ausgetragene Larven zur Welt und zwar stets nur eine einzige, so daß das Ovar beiderseits auf je eine Eiröhre reduziert ist. Die Larve aber wird im Uterus von dem Sekret der sog. Milchdrüsen ernährt. Schon auf jungen Stadien ist sie infiziert, aber die Symbionten leben an einer anderen Stelle, als in der Imago. Wir finden sie in einer beschränkten Region des Proventrikels, also am vordersten Abschnitt des Mit-



Fig. 10. Proventrikel des Darmes einer *Glossina*larve mit infiziertem Abschnitt. Nach *Roubaud*.

teldarmes, der nun reich mit dem fettigen Sekret der Milchdrüsen gefüllt ist, abermals sowohl intra- wie extrazellulär (Fig. 10). Ob bereits die Eizelle mit ihnen versorgt wurde oder ob sie mit diesem Sekret in die Larve gelangen, ist leider nicht zu entscheiden gewesen, wenn auch das letztere mehr Wahrscheinlichkeit für sich hat. Schreitet die Larve zur Verpuppung, so wird das infizierte Epithel — gleich dem des übrigen Mitteldarmes — abgestoßen und zerstört, so daß die Symbionten in großer Menge frei werden. Aus ihnen rekrutieren sich wohl die anfangs spärlichen Individuen, die vom 4. Tag an in dem bereits durch die Größe der Elemente auffallenden Zellpolster auftauchen, das mit dem der Imago identisch ist. Eine unmittelbare Infektion der Imaginalzellen ist hier, wo der Sitz der Gäste in Larve und Imago ein verschiedener ist, nicht möglich.

Von besonderem allgemeinerem Interesse ist

<sup>3</sup>) Infolge der Kriegsverhältnisse war sie mir leider bei der Abfassung meines Symbiosebuches noch unbekannt.

hierbei aber ferner der Umstand, daß die Epithelzellen des Polsters bereits vor ihrer Infektion ungefähr doppelt so hoch sind als die übrigen. Denn wir müssen annehmen, daß die Volumenvergrößerung der Mycetocyten ursprünglich nur eine Antwort auf die fremden Reize ist und daß in einem Fall, wie dem vorliegenden, das Engramm\*) sich geltend macht, bevor die Reizquelle sich einstellt. Wie in besonders schöner Weise ein analoger, für das Problem der Vererbung erworbener Eigenschaften bedeutungsvoller Vorgang bei der Infektion der Blattlausembryonen zur Beobachtung kommt, möge man in meinem Symbiosebuch nachlesen.

Die engsten biologischen Beziehungen zu den Glossinen weisen die Pupiparen auf, die — eben-

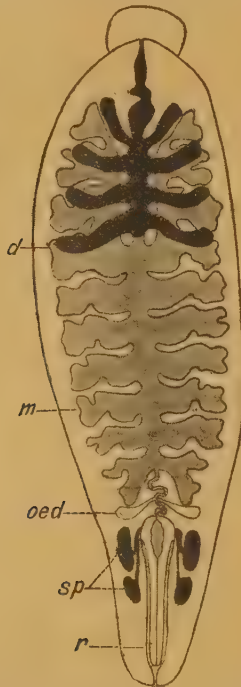


Fig. 11. *Placobdella catenigera*. *r* Rüssel, *sp* Speicheldrüsen, *oed* „Oesophagusdrüsen“ = Sitz der Symbionten, *m* Magendarm, *d* resorbierender Darm nach Reichenow.

falls strikte Blutsauger — ganz identische Fortpflanzungseinrichtungen entwickelt haben. Bei ihnen fand Sikora (1918) bereits ähnliche lokale, „parasitengefüllte“ Epithelverdickungen am Mitteldarm (*Melophagus ovinus*), und Roubaud konnte dies nicht nur bestätigen, sondern auch auf andere Formen ausdehnen (*Hippobosca equina*, *Lipoptena cervi*). Übertragung, Verhalten in Larven und Puppen bedarf hier noch der Untersuchung.

All die bisher besprochenen Fälle bezogen sich auf Arthropoden. Durch Feststellungen Reichenows wird dieser Kreis aber sogar durchbrochen. Er konnte, einmal auf die intrazelluläre Symbiose aufmerksam geworden, gewissen Ausstülpungen

\*) Jeder Reiz hinterläßt in dem Protoplasma ein „Engramm“, das dieses befähigt, die von dem Originalreiz ausgelöste Wirkung auch bei geringeren oder andersartigen Reizen hervorzurufen.

am Oesophagus von Rüsselegeln den richtigen Platz anweisen (1922). Die auf Sumpfschildkröten schmarotzende *Placobdella catenigera* enthält in zwei keulenförmigen Aussackungen, die ältere Autoren, wie so manches andere Pilzorgan, als Drüsen ansahen, Unmengen fädiger Organismen, die auch in reichlicher Anzahl frei inmitten des aufgenommenen Blutes wahrgenommen werden können (Fig. 11, 12). Nach Kowalevsky haben auch andere Rüsselegel solche Anhänge, so die Fisch- und Batrachierblut saugende *Hemiclepsis marginata* und die an Wasservögeln saugende *Protoclepsis tessellata*. Ja, nach Reichenows letzten Erfahrungen macht auch der medizinische Blutegel keine Ausnahme, wenn auch der Sitz der Symbionten ein völlig anderer ist. Denn hier werden die Ampullen der in jedem Segment sich wiederholenden Exkretionsorgane bewohnt, also immerhin Organe, die bei Darmfüllung diesem der ganzen Länge nach dicht anliegen\*). Diese Entdeckung, deren genauere Schilderung noch

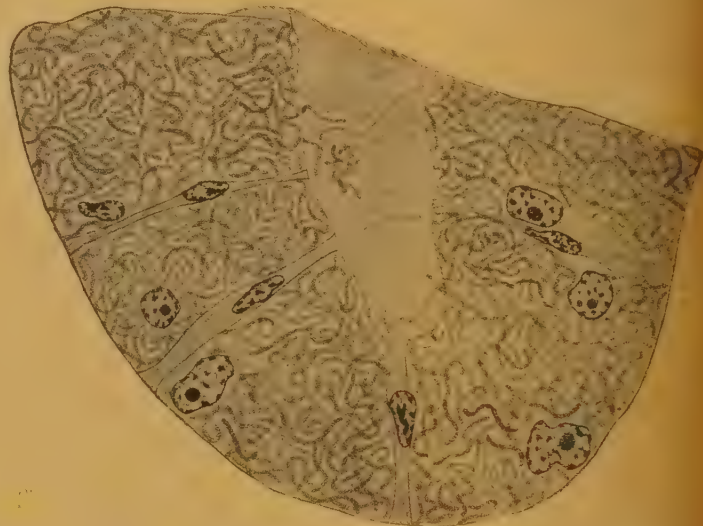


Fig. 12. Schnitt durch einen Teil des Mycetoms von *Placobdella catenigera*. Nach Reichenow.

aussteht, erinnert uns daran, daß an ganz ähnlicher Stelle im Regenwurm, nämlich auch an der Wandung einer ampullenartigen Erweiterung des Schleifenkanals, und nur auf diese beschränkt, stets stäbchenförmige Bakterien leben, deren Rolle noch völlig ungeklärt ist (Maziarski 1905). Hiernach bei anderen Anneliden zu suchen und die eventuellen Beziehungen zu dem Vorkommen bei *Hirudo* festzustellen, wird Aufgabe weiterer Untersuchungen sein. Wir dürfen vermuten, daß in diesen Fällen nicht die Eizellen aufgesucht werden, sondern bei der Kokonbildung dessen Inhalt verunreinigt und so die jungen Würmer von außen infiziert werden.

Culiciden, Glossinen, Pupiparen, *Gastrophilus*,

\*) Brieflicher Mitteilung entnehme ich nach Druck dieser Zeilen, daß auch der italienische Bakteriologe Zirpolo unabhängig von Reichenow beim medizinischen Blutegel Mycetome findet.



Pediculiden, Acanthia, Gamasiden, Ixodiden, Rhynchobdelliden, Gnathobdelliden, fast alle wichtigen, Wirbeltierblut saugenden Tiergruppen in der langen Reihe erschienen, die uns eine Fülle verschiedener Symbiosen offenbart hat. Trematoden und Flöhe sind es in erster Linie, die noch der Untersuchung harren und die wir gerne noch in ihr vertreten sehen würden. Was die letzteren anbelangt, so hat *Reichenow* daran gedacht, daß die Rickettsien, die sich in ihnen, wie in so vielen anderen Blutsaugern finden, vielleicht als noch wenig innig angepaßte Symbionten anzusehen wären, aber dabei handelt es sich um eine noch keineswegs spruchreife Frage.

Wer die voranstehenden Zeilen gelesen hat, wird sich der Überzeugung nicht entziehen können, daß die geschilderten Vorkommnisse einen biologischen Sinn haben müssen, und daß sie mit der Nahrungsquelle der Wirte in irgendeiner Beziehung stehen müssen. Aber wir sind leider noch nicht imstande, von der physiologischen Seite des Problems ein ähnlich abgerundetes Bild zu geben, wie wir das heute von der morphologischen tun können. Es liegt das in der Natur der Sache begründet. Die Symbiosenlehre ist eines der jüngsten Kinder biologischer Forschung, die nächstliegende Vorarbeit ist die morphologisch-entwicklungsgeschichtliche, und erst, wenn das Tatsachenmaterial ein so ansehnliches geworden ist, daß nicht mehr an ihm vorübergegangen werden kann, werden auch Physiologen, Bakteriologen, Pharmakologen, Mediziner sich dem Studium der hier noch zu lösenden Probleme in gesteigertem Maße zuwenden. Daß diese Zeit nicht mehr ferne ist, dafür mehrten sich in erfreulicher Weise die Symptome.

Bereits *Schaudinn* bildete sich eine Vorstellung über die Bedeutung der Culicidensymbionten für den tierischen Wirt. Er kam auf Grund sorgfältiger Versuche zu dem Schluß, daß die Quaddelbildung beim Mückenstich nicht, wie man gewöhnlich anzunehmen pflegt, von in die Wunde übergetretenem Speicheldrüsensekret verursacht wird, sondern durch Enzyme der hefeähnlichen Symbionten, die z. T. vorübergehend in die Wunde selbst übertreten sollen. Die damit Hand in Hand gehende lokale Hyperämie soll dem Insekt die Nahrungsaufnahme erleichtern. Er hat nicht versäumt, diese Auffassung durch Versuche zu erhärten, und konnte tatsächlich durch Einführung von symbiontengefüllten Blindsäcken in den Grund einer kleinen, mit der Nadel gebohrten Wunde schon nach wenigen Sekunden den kribbelnden Reiz, hierauf Rötung und typische Schwellung willkürlich erzeugen, während auf gleiche Weise eingeführte Speicheldrüsen ohne Folgen blieben. Für letztere vermutet er eine verdauende Wirkung.

Ich habe selbst in dieser Richtung weitere Versuche an mir angestellt, und zwar zunächst mit Bettwanzen. Versetze ich ein Myzetom der-

selben ähnlich wie *Schaudinn* in den Grund einer feinen Stichwunde, die soweit führt, daß oben an ihrem Boden eine Spur Blut erscheint, so entsteht ebenfalls eine Quaddel, die sich in nichts, was Zeit der Bildung, Umfang, Einzelheiten des Reliefs, Dauer, Zeit und Art des Schwindens von den Quaddeln unterscheidet, mit denen ich auf Wanzen reagiere. Nachdem ich beiderlei nebeneinander hervorgerufen, habe ich wiederholt Unbeteiligte vergebens um einen Entscheid angegangen, welches die natürliche Stichwirkung sei. Verfahre ich aber ebenso mit einer sekretgefüllten Speicheldrüse, so ist im Gegensatz zu den Schaudinnschen Ergebnissen der Effekt genau der gleiche, und es gelingt endlich, auch mittels Fettgewebe oder Hodensubstanz sich die schönsten Wanzenquaddeln hervorzurufen. Ich habe zunächst daran gedacht, daß man angesichts dieser Befunde die Schaudinnsche Auffassung doch noch auf die Verhältnisse bei der Bettwanze übertragen und sich vorstellen könnte, daß eben der ganze Körper des Tieres von den Quaddel erzeugenden Enzymen der Bakterien überschwemmt ist und das Speicheldrüsensekret lediglich als Träger derselben funktioniert. Aber weitere Experimente über die Wirkung von anderweitigem ebenso in die Haut versetzten Gewebe, das von Insekten stammt, die niemals Blut saugen, haben mich davon abgebracht. Denn es gelingt auch so, etwa mit dem Fett von *Tenebrio molitor*-Larven, die schönsten Quaddeln zu erzielen. Daß der mechanische Reiz hierbei nicht in Frage kommt, lehren die Kontrollversuche. Es kann sich also lediglich um eine generelle Wirkung artfremden Eiweißes auf die Gefäße handeln. Die Erfahrung *Schaudinns*, daß *Culex*-Speicheldrüsen keine Quaddeln geben, bedarf damit einer Nachprüfung, wie überhaupt weitere Versuche in dieser Richtung nötig sind. Jedenfalls ergibt sich schon heute, daß eine spezifische Wirkung der Speicheldrüsen, die man gewöhnlich annahm, keineswegs vorliegt, ebenso wenig wie eine generelle der Symbionten, womit nicht gesagt sein soll, daß gelegentlich eine Mitwirkung derselben möglich, ja wahrscheinlich ist, vor allem natürlich dort, wo dieselben im Lumen von Ausstülpungen am Ösophagus oder an ähnlichen Stellen oder gar in den Speicheldrüsen selbst leben<sup>5)</sup>.

Nachdem der von *Schaudinn* betretene Weg also zu keinem einheitlichen Verständnis der Blutsaugersymbiosen führen kann, müssen wir uns anderweitig umsehen. Man könnte vielleicht daran denken, daß die allen hämophagen Tieren nötige Produktion gerinnungshemmender Fermente auf ihre Kosten zu setzen sei. Aber es fehlt in dieser Richtung an jeglichen Anhaltspunkten. Soweit wir den Sitz des Antikoagulins genau kennen, was leider nur von den wenigsten Fällen gesagt werden kann, handelt es sich um

<sup>5)</sup> Daß letzteres vorkommen kann, vermute ich nach gelegentlichen Beobachtungen an den großen, auch Menschenblut saugenden brasilianischen Connorhinen (Wanzen).

sterile Drüsen. So bleibt von allgemein gültigen Erfordernissen nur die Fähigkeit der Blutverdauung. Auf den ersten Blick erscheint bei der leichten Zugänglichkeit der vornehmlich aus Eiweiß und Lipoiden bestehenden Nahrung eine besondere Hilfe allerdings kaum nötig, und doch liegt eine Reihe von Hinweisen vor, die für proteolytische Fähigkeiten der Symbionten sprechen. Zunächst muß daran erinnert werden, daß in der Mehrzahl der Fälle der Sitz der Symbionten ein derartiger ist, daß man ihm das Bestreben, auf den Darminhalt einzuwirken, entnehmen kann. Aussackungen am Anfangsdarm, Zellgruppen dicht unter dem Darmepithel, über den ganzen Mitteldarm zerstreute Zellen, verdickte Polster des Mitteldarmepithels, in den ausgehenden Mitteldarm einmündende Malpighische Gefäße begegnen uns. Nur die Mycetome der Wanze und der Gastrophiluslarve machen eine Ausnahme. Dazu kommt, daß bei Culiciden, Glossinen, Hirudineen die Symbionten daneben auch frei dem Blut beigemischt vorkommen. Ja, *Reichenow* gibt geradezu an, daß die Auflösung der roten Blutkörperchen zuerst rund um diese Knäuel freier Symbionten vor sich geht. Besonders wertvoll aber sind uns an dieser Stelle Untersuchungen, die *Weinberg* (1908) über die hämotoxischen Sekrete der Gastrophiluslarven anstellte, ohne natürlich über die Natur des Trachealorgans im klaren zu sein, denn er fand, als er die Wirkung von Organextrakten prüfte, daß der Fettkörper keine blutkörperlösenden Stoffe enthält, Darmextrakt sie löst, am schnellsten aber das Trachealorganextrakt wirkt. In dieser Richtung wird man also weiter zu arbeiten haben. Hämolysisch wirkende Bakterien sind ja längst bekannt und keine Seltenheit. Gelöst ist das Problem natürlich noch keineswegs; die z. T. recht verschiedene Natur der Symbionten wird sich auch in verschiedenen Wirkungen äußern, und man wird sich zunächst vor zu raschen Verallgemeinerungen hüten müssen. Das geht schon daraus hervor, daß bei einem Teil der Blutsauger die geformten Elemente der Nahrung stets schon im Darmlumen völlig aufgelöst werden, bei einem anderen, so bei den Akarinen, die Blutkörperchen erst intrazellulär verdaut werden. Daß die Mycetomen z. T. nicht in unmittelbarer Berührung mit dem Darmlumen stehen, bietet keine Schwierigkeiten, denn wir müssen uns dieselben ja als einen besonderen Typus von Organen mit innerer Sekretion vorstellen, denen eine derartige geringe Fernwirkung wohl zugetraut werden darf.

Interessant wird es sein, Tiere zu prüfen, die als einzelne unter ihren Verwandten zu Blutsaugern geworden sind, wie z. B. der interessante, auf Aalen lebende Polychät *Ichthyotomus sanguinarius*, und andererseits Formen, die nicht ausschließlich von Blut leben, sondern auch Wasser zu sich nehmen, wie die Stomoxiden, bei denen man bisher keine Symbiontenorgane fand. *Reichenow* möchte dies so deuten, daß diese Tiere eben reichlich Gelegen-

heit haben, mit dem Wasser zur Verdauung nötige Mikroorganismen aufzunehmen, während hierfür bei den strikten Blutsaugern die Aussichten sehr gering sind und deshalb ein erbliches Zusammenleben erwünscht erscheinen muß. Wie dem auch sei — es läßt sich manches dagegen einwenden —, auf eine Beeinflussung der Nahrung weisen jedenfalls die meisten Momente hin, und die Studien über die innigen Symbiosen so außerordentlich vieler Blutsauger tun es aufs neue deutlich dar, daß eine vergleichende Physiologie des Stoffwechsels der wirbellosen Tiere ohne die stete Berücksichtigung artfremder Symbiontenenzyme nicht mehr gut denkbar ist.

*Buchner, Paul*, Tier und Pflanze in intrazellulärer Symbiose. Berlin 1921. (Dasselbst eine eingehende Literaturübersicht über das ganze Gebiet.)

— Über das „tierische“ Leuchten. Naturwissenschaften 1922.

— Über ein neues symbiontisches Organ der Bettwanze. Biol. Zentralbl. 41. Bd., 1921.

*Maziarski, St.*, Recherches cytologiques sur les organes segmentaires des Vers de terre. Poln. Arch. biol. u. med. Wissenschaften 2. Bd., 1905.

*Reichenow, Ed.*, Intrazelluläre Symbionten bei blutsaugenden Milben und Egel. Arch. f. Protistenk. 45. Bd., 1922.

*Roubaud, E.*, Les particularités de la nutrition et la vie symbiotique chez les mouches tssets. Ann. Inst. Pasteur T. 33, 1919.

*Schaudinn, Fr.*, Generations- und Wirtswechsel bei Trypanosomen und Spirochaete. Arb. Kais. Gesundheitsamt 20. Bd., 1904.

*Sikora, H.*, Beiträge zur Kenntnis der Rickettsien. Arch. Schiffs- u. Tropenhygiene 22. Bd., 1918.

*Stuhlmann, F.*, Beiträge zur Kenntnis der Tsetsefliege. Arb. Kais. Gesundheitsamt 26. Bd., 1907.

*Weinberg, M.*, Substances hématotoxiques secrétées par les larves d'Oestres. C. R. Soc. Biol. A. 65, 1908.

## Die Süßkraft der künstlichen Süßstoffe.

Von Friedrich Auerbach, Berlin.

Die Entdeckung der wunderbaren Eigenschaft des *Saccharins* (des Benzoesäuresulfonids) durch *C. Fahlberg* und *Ira Remsen* im Jahre 1878 hat damals ungeheures Aufsehen erregt. Die Fähigkeit der menschlichen Zunge, nach Art und Stärke so mannigfaltige Geschmacksempfindungen zu vermitteln, ist ja an sich ein noch wenig geklärtes Wunder, das aber durch die alltägliche Erfahrung nicht mehr als solches empfunden wird, so wenig wie die Feinfühligkeit unseres Geruchsorgans. Daß aber ein winziges Körnchen eines Laboratoriumsproduktes in Wasser gelöst fast genau denselben Geschmack hervorruft, wie die *mehrhundertfache* Menge Zucker, das war in der Tat überraschend und ist in seinem Mechanismus noch jetzt ein vollkommenes Rätsel, dem höchstens auf dem Gebiete des Geruchs ähnliche Erscheinungen an die Seite gestellt werden können, nicht aber bei den Gesicht- oder Gehörsempfindungen.

Was sonst an natürlichen und künstlichen süß schmeckenden Stoffen bekannt war — die verschiedenen Zuckerarten (aus Früchten oder anderen Pflanzenteilen oder aus Stärke oder aus Milch gewonnen oder von den Bienen in Honig verwandelt oder künstlich erzeugt), ferner der Süß-



stoff des Süßholzes, Glykol, Glycerin und andere höhere Alkohole, einige Verbindungen des Bleis, des Berylliums und anderer Metalle — alles das steht an Süßkraft entweder hinter dem Rohrzucker zurück oder kommt ihm etwa gleich. Später wurden noch einige andere organische Verbindungen von hohem Süßungsvermögen entdeckt, von denen aber nur das *Dulcin* (p-Phenetolcarbamid) praktische Bedeutung erlangt hat.

Die überschwenglichen Hoffnungen, die von mancher Seite an die praktische Verwertung der künstlichen Süßstoffe geknüpft worden waren, konnten sich nicht erfüllen. Denn von den Merkmalen, die dem Zucker seine Wichtigkeit für die Zubereitung der Lebensmittel verleihen: süßer Geschmack, Nährwert, Masse und Volumen und andere küchentechnische Eigenschaften (Zähigkeit seiner Lösungen, Konservierungsvermögen, Bräunung beim Erhitzen usw.), kommt dem Saccharin und dem Dulcin lediglich der süße Geschmack zu. Sie mußten also von vornherein als Zuckerersatz überall da ausscheiden, wo der Zucker nicht nur als Süßungsmittel wirkt, so in Nährmitteln, Gebäcken, Marmelade, Schokolade u. a. Und wenn auch die Gesundheitsunschädlichkeit des Saccharins einwandfrei nachgewiesen worden ist, so mußte doch durch scharfe gesetzliche Bestimmungen etwaigen Mißbräuchen bei der Verwendung dieses Ersatzmittels vorgebeugt werden. Als aber während des Weltkrieges durch den Rückgang des Anbaus von Zuckerrüben in Deutschland und später durch den Verlust der besonders hierfür in Betracht kommenden östlichen Provinzen der Zucker für die deutsche Bevölkerung nur noch in knappen, vielfach ganz unzureichenden Mengen zur Verfügung stand, wurden Milderungen der gesetzlichen Beschränkungen vorgenommen und die künstlichen Süßstoffe Saccharin und Dulcin unter gewissen Bedingungen in weiterem Umfange als bisher zugelassen. Dadurch traten die Fragen nach der Süßkraft der künstlichen Süßstoffe, nach ihren sonstigen geschmacklichen und physiologischen Eigenschaften und nach ihrer zweckmäßigsten Anwendungsform erneut in den Vordergrund. Außer den maßgebenden behördlichen Stellen (dem Reichsgesundheitsamt, der Reichszuckerstelle, den preussischen Zentralbehörden) haben sich namentlich *Theodor Paul* und seine Mitarbeiter an der Deutschen Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie in München mit der wissenschaftlichen und praktischen Bearbeitung dieser Fragen beschäftigt. Besonderes Interesse beanspruchen seine überraschenden Feststellungen über das Süßungsvermögen der künstlichen Süßstoffe<sup>1)</sup>, über die hier kurz zusammenfassend berichtet werden soll.

<sup>1)</sup> Vorträge von *Th. Paul* 1920 auf der Naturforschervers. in Nanheim und 1921 auf der Hauptversamml. d. Deutschen Bunsen-Gesellschaft in Jena, Ztschr. f. Elektrochem. 27, 539 (1921); Chem.-Ztg. 1920, S. 767, 1921 Nr. 4 und Nr. 88; Dissertation von *K. Täufel*, München 1921; *R. Pauli*, Biochem. Ztschr. 125, 97 (1921).

Bis vor kurzem wurde als feststehend angenommen, daß gegenüber Rohrzucker das Saccharin, in Form seines reinen kristallisierten Natriumsalzes (auch „Krystallose“ genannt), eine 450fache, das Dulcin eine 250fache Süßkraft habe. (Die weniger reinen oder absichtlich mit Zusätzen versehenen Handelspräparate, von denen z. B. die Saccharintäfelchen Natriumbicarbonat enthalten, stehen in ihrer Süßkraft natürlich hinter der Krystallose zurück.) Das Verfahren, nach dem diese Werte erstmalig gefunden und nach dem in der Regel auch die Erzeugnisse geprüft werden, erscheint aber nicht als sehr zweckmäßig. Es wird danach stets eine einpromillige Lösung der Süßstoffprobe stufenweise soweit mit Wasser verdünnt, bis sie gerade so süß schmeckt, wie eine zweiprozentige Rohrzuckerlösung. In Gemeinschaft mit *Richard Pauli* hat daher *Paul* zunächst ein auf gesicherter wissenschaftlicher Grundlage beruhendes, aus den bewährten Methoden der Psychophysik entnommenes *Untersuchungsverfahren* ausgearbeitet und angewendet.

Es werden zunächst zwei Süßstofflösungen hergestellt, von denen die eine sicher süßer, die andere sicher weniger süß schmeckt, als eine zum Vergleich dienende Zuckerlösung bekannten Gehaltes. Außer den beiden Grenzlösungen wird eine Reihe weiterer Süßstofflösungen von dazwischen liegender Konzentration, und zwar in *gleichmäßigen* Konzentrationsintervallen, hergestellt (wegen dieser konstanten Differenzen heißt die Methode „Konstanzmethode“). Durch Kostversuche ist nun zu ermitteln, bei welcher Süßstoffkonzentration der süße Geschmack demjenigen der Vergleichszuckerlösung genau gleichkommt. Für die Technik der Kostproben wurden auch die Erfahrungen von *Paul* auf anderen Gebieten der Geschmacksprüfung herangezogen. So müssen stets eine große Reihe verschiedener Personen teilnehmen; jede Beeinflussung des Urteils muß durch die Art der Versuchsanstellung und durch die Bezeichnung der Proben ausgeschlossen sein; jeder Vergleich zweier Proben ist von jeder Versuchsperson doppelt, und zwar in wechselnder Reihenfolge auszuführen, um den Einfluß der Zeitlage auszuschalten, weil erfahrungsgemäß von zwei kurz nacheinander wirkenden Geschmacksreizen der zweite etwas anders empfunden werden kann als der erste; aus dem gleichen Grunde müssen auch die Pausen zwischen den einzelnen Versuchen ausreichend bemessen (in München wurde stets von allen Versuchspersonen gleichzeitig auf Kommando des Versuchsleiters gekostet), die Versuchsreihen nicht zu lang ausgedehnt und die Zunge zwischen den Kostproben durch Brot, von Zeit zu Zeit auch durch Wasser oder andere Getränke wieder empfänglich gemacht werden. Durch diese und eine Reihe anderer Vorsichtsmaßregeln gelang es, die Urteilsfindung so sicher zu gestalten, daß z. B. die mit geübten Beobachtern in München erhaltenen Ergebnisse durch Kontrollversuche in Madrid,

mit völlig ungeübten Personen eines anderen Volksstammes, mit Analysengenauigkeit bestätigt werden konnten.

Die Auswertung der von den einzelnen Beobachtern protokollierten Kostergebnisse vollzieht sich nach einem von *Spearman* und von *W. Wirth* mathematisch begründeten Verfahren, von dem Fig. 1 eine Andeutung geben soll. Das darin wiedergegebene Beispiel betrifft den Vergleich neun verschiedener Saccharinlösungen, die 8 bis 80 mg Saccharin in 1 l enthielten, mit einer Lösung von 20 g Zucker in 1 l durch 18 Beobachter, von denen jeder 18 Vergleichs-Schmeckversuche anstellte, so daß im ganzen 324 Urteile abgegeben wurden. Zu jeder der auf der Abszisse aufgetragenen neun Süßstofflösungen gehören die durch die Ordinaten dargestellten Anzahlen der Urteile, von denen die „Stärker-Urteile“ (Süßstofflösung süßer als Zuckerlösung) durch eine Kurve, die „Schwächer-Urteile“ durch eine zweite Kurve und die „Gleich-Urteile“ (zu denen auch die „unsicheren“ gerechnet werden) durch eine dritte, die ausgezogene Kurve, verbunden sind. Geht schon aus der bloßen Betrachtung des Schaubildes hervor, daß die Konzentration der Saccharinlösung,

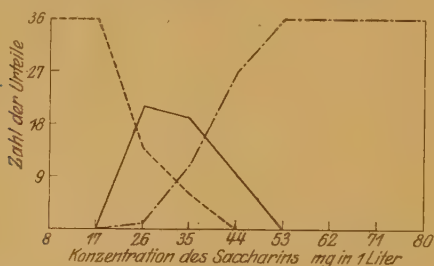


Fig. 1.

- Urteile: Süßstofflösung ist weniger süß als Zuckerlösung.
- - - - - Urteile: Süßstofflösung ist süßer als Zuckerlösung.
- ..... Urteile: Süßstofflösung ist gleich süß mit Zuckerlösung. bzw. ist unentschieden.

#### Ermittlung des Süßungsgrades

von Saccharin (Krystallose von *Heyden*) im Vergleich mit zweiprozentiger wässriger Lösung von Zucker (Saccharose).

Zahl der Urteile: 324 (Zahl der Versuchspersonen: 18).

die der Vergleichslösung an Süße gleichkommt, zwischen 26 und 35 mg/l liegen muß, so ergibt die mathematische Analyse, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, genauer die wahrscheinlichste Lage dieses Wertes.

Auf diese Weise wurde nun die ganze Reihe der in Betracht kommenden Konzentrationen von Saccharin- und Dulcinlösungen jeweils mit einer Zuckerlösung passender Konzentration verglichen. Die Ergebnisse lassen sich — etwas abweichend von *Pauls* eigener Darstellungsart — vielleicht am übersichtlichsten in dem Schaubild Fig. 2 wiedergeben, das für jede Süßstofflösung beliebiger Konzentration in den ausgezogenen Kurven unmittelbar die Süße, gemessen durch die Kon-

zentration einer ebenso süß schmeckenden, „isodulcen“ Rohrzuckerlösung veranschaulicht. Da nämlich verschiedene Geschmacksempfindungen sich quantitativ nicht unmittelbar vergleichen lassen, so ist als Maß dieser Empfindungen der Zuckergehalt einer Rohrzuckerlösung entsprechender Süße gewählt, weil durch andere Untersuchungen (Vergleich verschiedener Zuckerarten untereinander) es wahrscheinlich gemacht worden ist, daß der süße Geschmack von Zuckerlösungen mit steigender Konzentration ganz gleichmäßig zunimmt. Die beiden Kurven für Saccharin und für Dulcin zeigen nun in ihrem oberen Teil, etwa von der Konzentration 0,2 g Süßstoff in 1 l ab, einen nahezu genau linearen Verlauf, d. h. die Süße der Lösungen steigt in diesem Gebiet gleichmäßig mit ihrer Konzentration an, während in den verdünnten Lösungen der Anstieg wesentlich steiler ist. Bei den gewählten Konzen-

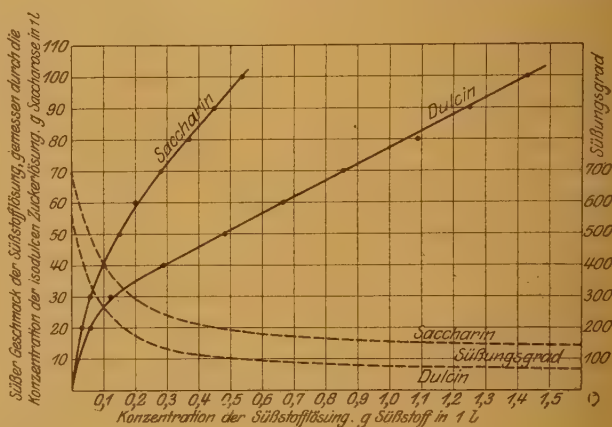


Fig. 2.

----- Süßer Geschmack. — — — — Lösungsgrad.

trationseinheiten (g/l) wird der gerade Teil der Kurven durch die Gleichungen wiedergegeben:

$$\text{für Saccharin: } y = 118x + 37$$

$$\text{und für Dulcin: } y = 52,5x + 25.$$

Um auch den gekrümmten Anfangsteil in die Kurvengleichungen einzubeziehen, ermittelte ich durch Probieren die Interpolationsformeln (die natürlich nur als solche, ohne theoretische Bedeutung, aufzufassen sind):

$$y_{\text{Sacch.}} = 118x + 37(1 - e^{-15x})$$

$$y_{\text{Dulc.}} = 52,5x + 25(1 - e^{-20x})$$

wobei die Klammerausdrücke von etwa  $x = 0,2$  ab innerhalb der Fehlergrenzen den Wert 1 annehmen.

Nach diesen Gleichungen — deren Zahlenfaktoren sich durch Ergänzung und Erweiterung der experimentellen Unterlagen noch ändern können — sind die ausgezogenen Kurven in Fig. 2 gezeichnet, die sich den beobachteten Punkten gut anschmiegen.

Übersichtlicher aber als der unmittelbare Vergleich der Konzentrationen  $y$  und  $x$  der isodulcen Lösungen ist die Betrachtung ihres Konzentrationsverhältnisses  $y/x$ , das von *Paul* als



*Süßungsgrad* definiert, von anderer Seite als „Süßkraft“ bezeichnet wird. Es wird ausgedrückt durch die Anzahl der Gramme Zucker, die zu einem bestimmten Volumen gelöst, ebenso süßen Geschmack hervorrufen, wie 1 g des Süßstoffes in dem gleichen Lösungsvolumen. Diese Zahl wurde, wie oben erwähnt, bisher als konstant angenommen, u. zw. für Saccharin zu 450, für Dulcin zu 250. Nach den Messungen von *Paul* ist aber der Süßungsgrad stark von der Konzentration abhängig. Aus den obigen Interpolationsgleichungen ergibt sich für den Süßungsgrad:

$$(y/x)_{\text{Sacch.}} = 118 + \frac{37}{x}(1 - e^{-15x})$$

$$(y/x)_{\text{Dulc.}} = 52,5 + \frac{25}{x}(1 - e^{-20x})$$

Die so berechneten Werte der Süßungsgrade sind durch die gestrichelten Kurven in Fig. 2 wiedergegeben. Mit steigender Konzentration  $x$  der Süßstofflösung wird danach der Süßungsgrad immer kleiner; für Lösungen mit 1 g Süßstoff in 1 l bei Saccharin 155, bei Dulcin 77,5; für noch konzentriertere Lösungen streben die Süßungsgrade den Grenzwerten 118 und 52,5 zu. Dagegen steigt in verdünnten Süßstofflösungen der Süßungsgrad beider Süßstoffe stark an und strebt, wie sich rechnerisch leicht ergibt, wenn die Extrapolation erlaubt ist, für Saccharin dem Maximalwert 673, für Dulcin dem Maximalwert 552 zu.

Für die praktische Anwendung unter Umständen noch bequemer ist der reziproke Wert des Süßungsgrades,  $x/y$ , von *Paul* als *Süßungseinheit* bezeichnet und auf die tausendfach größere Zuckermenge bezogen. Die Süßungseinheit gibt an, wieviel Gramm eines Süßstoffes man anwenden muß, um in einem bestimmten Lösungsvolumen 1 kg Rohrzucker zu ersetzen. Sie bewegt sich für Saccharin je nach der Konzentration zwischen 1,5 und höchstens 8,5, für Dulcin zwischen 1,8 und höchstens 19. Die von *Paul* durch Versuche gefundenen Süßungseinheiten sind in der unten folgenden Tabelle wiedergegeben.

Dieser Befund, daß man es weder bei Saccharin noch bei Dulcin mit konstanten Süßungsgraden und Süßungseinheiten zu tun hat, sondern daß diese Werte in hohem Grade von der Konzentration abhängig sind, ist nicht nur wissenschaftlich interessant, sondern für die Anwendung der künstlichen Süßstoffe im Haushalt und in den Lebensmittelgewerben von großer Bedeutung.

Vielleicht in noch höherem Grade trifft dies zu für die Beobachtungen *Pauls* über das Verhalten von *Süßstoffgemischen*. Es zeigte sich nämlich, daß sich der süße Geschmack von Saccharin oder von Dulcin zu demjenigen von Zucker in gemischten Lösungen einfach *addiert*, und daß das gleiche für Gemische von Saccharin und Dulcin unter einander gilt. Dies ist um so bemerkenswerter, als ja bei Saccharin allein oder bei Dulcin allein in *verdünnten* Lösungen von

einem additiven Verhalten nicht die Rede ist. Denn während in einem Liter Wasser die ersten 50 mg Dulcin etwa 18 g Zucker ersetzen, süßen weitere 50 mg Dulcin nur noch wie ein Zusatz von weiteren 9 g Zucker. Werden aber statt der zweiten 50 mg Dulcin 50 mg Saccharin zugefügt, so kommen diese auch im Gemisch mit ihrer vollen, in reinen Lösungen beobachteten Süßkraft von etwa 27 g Zucker zur Geltung. Wie dieses Verhalten physiologisch zu deuten sein mag, bedarf noch der Aufklärung. Praktisch hat es zur Folge, daß sich die unverhältnismäßig hohe Süßkraft der künstlichen Süßstoffe in ihren *verdünnten* Lösungen durch geeignete Mischung besser ausnutzen läßt, als wenn man die einzelnen Süßstoffe für sich anwendet. Denn in dem oben angeführten Beispiel werden  $18 + 27 = 45$  g Zucker durch 50 mg Dulcin + 50 mg Saccharin = 100 mg Süßstoff ersetzt, während hierzu 120 mg Saccharin allein oder sogar 380 mg Dulcin allein erforderlich wären. Obendrein wird sowohl von Teilnehmern der wissenschaftlichen Schmeckversuche wie von Praktikern aus dem Lebensmittelgewerbe (für Limonaden und obergärige Biere) behauptet, daß Gemische von Saccharin und Dulcin einen angenehmeren, vollmundigeren Geschmack hervorrufen, als Saccharin für sich.

Für jede Zuckerlösung beliebiger Konzentration gibt es natürlich eine ganze Reihe von isodulcen gemischten Saccharin-Dulcin-Lösungen. Unter diesen wird sich aber *eine* dadurch auszeichnen, daß sie die geringste Gewichtsmenge an Süßstoff beansprucht, so daß dieses „ausgezeichnete Gemisch“ einen besonders hohen Süßungsgrad, eine besonders niedrige Süßungseinheit aufweist. Die Zusammensetzung dieser günstigsten Mischungen läßt sich mathematisch mit Hilfe der oben von mir abgeleiteten Interpolationsgleichungen berechnen<sup>2)</sup>; da die Rechnungsergebnisse aber noch der experimentellen Bestätigung bedürfen, so sollen hier nur die von *Paul* auf eine etwas weniger systematische Weise gefundenen und daher wohl noch nicht endgültigen Angaben über die Süßungseinheiten der „Süßstoffpaarlinge“ mit den Süßungseinheiten der reinen Süßstofflösungen zusammengestellt werden.

Aus dem letzten Beispiel der Tabelle ersieht man, daß in einer etwa zehnpromzentigen Zuckerlösung jedes kg Zucker durch 4 g eines Süßstoff-

2) Unter der Annahme additiven Verhaltens werden die Gleichungen für  $y_{\text{Sacch.}}$  und  $y_{\text{Dulc.}}$  addiert. Die Aufgabe läuft dann darauf hinaus, für eine gegebene Gesamtsüße ( $y_{\text{Sacch.}} + y_{\text{Dulc.}}$ ) die Konzentrationen von  $x_{\text{Sacch.}}$  und  $x_{\text{Dulc.}}$  so zu wählen, daß ( $x_{\text{Sacch.}} + x_{\text{Dulc.}}$ ) ein Minimum wird. Man findet als Bedingung dafür die Gleichung:

$$e^{-20x_{\text{Dulc.}}} = 1,11 \cdot e^{-15x_{\text{Sacch.}}} + 0,131$$

Daraus kann man für jede Saccharinkonzentration den günstigsten Dulcinzusatz und aus beiden die Süße des Gemisches (d. h. den Gehalt der isodulcen Zuckerlösung) berechnen und in Tabellen oder Kurven zur praktischen Benutzung zusammenstellen.

*Süßungseinheiten von Saccharin und Dulcin in reinen und gemischten Lösungen verschiedener Konzentration.*

| Süße der Lösung<br>= Konz. der isodulcen<br>Zuckerlösung |                                  | Süßungseinheit.<br>1 kg Zucker wird in dem<br>Lösungsvolumen ersetzt durch |                         |   |
|--|----------------------------------|--|-------------------------|---|
| g Zucker<br>in 1 Liter<br>Lösung                         | Lit. Lösg.<br>für 1 kg<br>Zucker | g<br>Saccharin<br>für sich   | g<br>Dulcin<br>für sich | g Gemisch<br>von<br>Saccharin<br>und Dulcin |
| 20   | 50                               | 1,50   | 2,75                    | —   |
| 30   | 33,3                             | 1,83   | 4,00                    | —   |
| 40   | 25                               | 2,50   | 7,25                    | 2,13  |
| 50   | 20                               | 3,00   | 9,62                    | 2,20  |
| 60   | 16,7                             | (3,17)?  | 11,11                   | 2,59  |
| 70   | 14,3                             | 4,00   | 12,20                   | 2,93  |
| 80   | 12,5                             | 4,63   | 13,60                   | 3,06  |
| 90   | 11,1                             | 5,00   | 13,89                   | 3,44  |
| 100  | 10                               | 5,35   | 14,29                   | 4,00  |

gemisches (bestehend aus 2,8 g Saccharin und 1,2 g Dulcin) ersetzt werden kann, während von den reinen Süßstoffen zu dem gleichen Zweck 5,35 g Saccharin oder 14,29 g Dulcin erforderlich wären. Diese Steigerung der Süßkraft durch geeignete Mischung ist ein schöner Erfolg der Untersuchungen von Paul, deren Fortsetzung gewiß noch andere Früchte zeitigen wird.

## Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie<sup>1)</sup>.

Von C. Pulfrich, Jena.

(Fortsetzung.)

### II. Teil.

#### Anwendungen der neuen Methode.

Wenn ich jetzt dazu übergehe, über Apparate zu berichten, die im letzten Jahre auf Grund der neuen Methode hergestellt wurden, so bitte ich vor allem, diese Apparate als das anzusehen, was sie gewesen sind, nämlich *Versuchsinstrumente*, die nach Skizzen von mir in der der Meßabteilung der Firma angeschlossenen Lehrlings- und Versuchsabteilung unter der Leitung des Herrn Werkführers A. Angelroth zur Ausführung gelangten. Sie genügten für den Zweck, für den sie bestimmt waren, aber in ihrer äußeren Aufmachung entsprechen sie nicht den Anforderungen, die man an die katalogmäßigen Instrumente der Firma Carl Zeiß zu stellen gewohnt ist. Bei den nunmehr definitiv zu bauenden Stereo-Photometern werden natürlich auch diese mehr äußerlichen Mängel der Instrumente in Wegfall kommen.

Ich werde über nur wenige Messungsreihen zu berichten haben, einmal deshalb, weil ich selbst nicht in der Lage war und bin, mit den Instrumenten zu arbeiten, dann aber auch deshalb, weil die von anderen Personen auf meinen Wunsch hin ausgeführten Versuche meist nur zu dem Zwecke unternommen wurden, die Erscheinungen

kennen zu lernen, die getroffenen Einrichtungen praktisch zu erproben, und um einen Fingerzeig zu erhalten, ob und welche Verbesserungen an den Instrumenten noch anzubringen waren. Die eigentliche Verwertung der Instrumente zu Untersuchungen, wo diese die Hauptsache sind, muß Anderen überlassen bleiben.

#### 14. Apparate für spektralunzerlegtes Licht, bei denen die Projektionsbilder der Marken oder diese selbst beidäugig betrachtet werden.

Wir können mit der Konstruktion eines Stereo-Photometers an den oben S. 557 beschriebenen Versuch zur Demonstration des Meßverfahrens gleich anknüpfen, indem wir den Rauchkeil (S. 598) in eine Metallhülse von der doppelten Länge des Rauchkeiles setzen und seine Fassung mit Zahn und Trieb, einer Millimeterteilung und einem Index versehen. Die in der Mitte der Hülse angebrachte Durchblicksöffnung bedecken wir mit einem zweiten feststehenden Rauchkeil von dem gleichen aber entgegengesetzt gerichteten Keilwinkel und erzielen so in allen Lagen des Keiles für das Fenster eine gleichmäßige Verdunkelung. Auf der dem Trieb gegenüberliegenden Seite der Hülse bringen wir in gleicher Höhe mit dem Fenster die Hälfte einer Untersuchungsbrille an, wie sie der Augenarzt benutzt, nur mit dem Unterschied, daß die Halbbrille vorn und hinten mit je einem Halter für Einsteckgläser versehen ist. In den einen Halter bringt man ein Rauchglas, dessen Absorptionskraft nur wenig stärker ist, als die des Rauchkeiles an seiner dünnsten Stelle und erzielt damit für die Nullstellung des Apparates eine Ablesung, die zwar nicht vollkommen mit dem Nullpunkt der Millimeterteilung zusammenfällt, aber doch innerhalb der Teilung zu liegen kommt.

In den anderen Halter steckt man das zu untersuchende Rauch- oder Farbglas. So entsteht ein für den Gebrauch in *Augenkliniken* geeignetes *Stereo-Photometer für den Handgebrauch* (Fig. 14), das in Verbindung mit einer der beiden Projektionseinrichtungen (siehe Fig. 3 und 4) dem Ophthalmologen die Möglichkeit bietet, die *farbigen Schutzgläser* nach der Größe ihrer Helligkeit in die Reihe der *Umbralgläser* einzuordnen. Die Umrechnung der an der mm-Skala abgelesenen Werte in Prozente der absorbierten Lichtmenge geschieht hierbei zweckmäßig an der Hand einer graphischen Kurve, die man aus den Angaben des Apparates für eine Anzahl Umbralgläser von bekannter Absorption ableitet. Dem Wunsche des Herrn Prof. Stock, Tübingen, entsprechend hat der von Herrn Prof. Goldberg, Dresden, hergestellte Rauchkeil versuchsweise einen solchen Keilwinkel erhalten, daß die Angaben des Apparates für ein 80proz. Umbralglas nahezu an der dunkelsten Stelle des Rauchkeiles sich befinden. Um auch stärkere Absorptionen messen zu

<sup>1)</sup> Im Auszug vorgetragen auf dem Physikertag in Jena am 21. IX. 1921.



können, ist die Einrichtung getroffen, daß vor der Durchblicksöffnung für den Rauchkeil noch ein Halter angebracht wird, in den ein 80prozentiges Umbralglas eingesetzt werden kann. Der Wertbereich des Keiles wird dadurch auf das Doppelte erhöht: auch kann dieses Verfahren wiederholt werden.

In bezug auf die *Klassifizierung der farbigen Gläser* in die Reihe der Umbralgläser ist aber zu beachten, daß die für farbige Schutzgläser gefundenen Werte nur gültig sind für das bei der Projektion der bewegten Marke benutzte Licht der Projektionslampe, wegen der etwas anderen spektralen Zusammensetzung nicht auch für Tageslicht, und auch für dieses nicht für alle Tageszeiten.



Fig. 14. Ein für den Gebrauch in Augenkliniken bestimmtes Stereo-Photometer für den Handgebrauch.

Diese Abhängigkeit von der Helligkeit der Lichtquelle macht sich aber nicht bei allen Farbfiltern in gleicher Weise bemerkbar. Ich habe darüber mit einem weiter unten beschriebenen Photometer Vergleichsmessungen anstellen lassen unter Benutzung einer Osramlampe, deren Leuchtkraft durch Anwendung eines Rheostaten von der Rotglut bis zur Weißglut gesteigert wurde. Hierbei hat sich ergeben, daß das Verhältnis der in Farbfiltern zurückgehaltenen Lichtmenge zur auffallenden bei *grünen und blauen* Farbgläsern mit zunehmender Helligkeit der Lichtquelle sehr nahe konstant bleibt, während bei *roten, gelben und braunen* Farbgläsern dasselbe Verhältnis mit zunehmender Helligkeit der Lichtquelle sehr stark zunimmt. Hieraus ergibt sich das für den Augenarzt bemerkenswerte Resultat, daß der durch rote, gelbe und braune Farbgläser ausgeübte relative Schutz der Augen

gegen blaues Licht mit zunehmender Helligkeit immer besser zur Geltung kommt. Es erscheint daher angebracht, bei Hochtouren Rotgläser zu verwenden.

Der Apparat kann statt mit einem Rauchkeil auch mit einem Stufenkeil ausgerüstet werden, oder man wählt die Anordnung so, daß man auf einer Drehscheibe einen Ringkeil (nach Prof. Goldberg) oder einen Satz von abgestuften Umbralgläsern am Auge vorbeiführt. Ist ein solcher Satz von losen Umbralgläsern vorhanden, so kann auch die Untersuchungsbrille des Augenarztes ohne weiteres als Photometer benutzt werden derart, daß man in die eine Hälfte der Brille das zu untersuchende Farbglas und in die andere Hälfte das Umbralglas steckt und dieses so lange wechselt, bis die größte Annäherung an die Geradlinigkeit der Bewegung erzielt ist.

Für die Messung ist das oben empfohlene Verfahren, die auf den Projektionsschirm geworfenen Bilder der Marken durch das Photometer zu betrachten, besonders deshalb zu empfehlen, weil das von den Markenbildern zurückgeworfene Licht infolge des sehr geringen Konvergenzwinkels der Blickrichtungen für beide Augen des Beobachters als gleich hell anzusehen ist, wobei nur vorausgesetzt wird, daß der Beobachter nicht allzuweit seitwärts vom Projektionsapparat sitzt. Am besten setzt sich der Beobachter so, daß er den Projektionsapparat hinter sich hat.

Unser früher beschriebenes einfaches Experiment mit dem an die Fensterscheibe geklebten

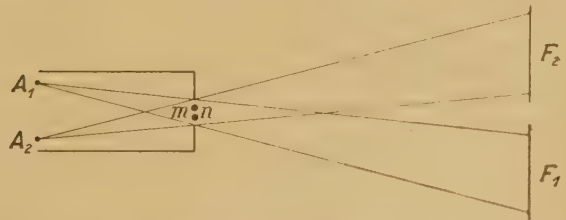


Fig. 15. Stereoskopische Betrachtung der am Ende eines Rohres befindlichen Marken, zum Zwecke des Vergleichs der Helligkeiten zweier Flächen  $F_1$  und  $F_2$ .

Bleistift eignet sich für genaue Messungen nur wenig, da es infolge des viel größeren Konvergenzwinkels der Blickrichtungen im allgemeinen schwer hält, in beiden Richtungen die gleiche Helligkeit für den Hintergrund zu erhalten.

Jedenfalls ist anzuraten, in allen Fällen jede Messung *zweimal*, einmal mit dem Rauchkeil links und dann mit dem Rauchkeil rechts vorzunehmen und durch Mittelbildung etwaige Differenzen in der Beleuchtung links und rechts auszugleichen.

Eine Anordnung, die mehr für Vergleichsbeobachtungen als für Messungen bestimmt ist und bei der statt der Projektionsbilder die Marken selbst benutzt werden, besteht darin, daß man mit beiden Augen durch ein 8 cm weites und ca. 30 cm langes Rohr hindurchschaut, an dessen anderem Ende die Marken, diese nach Art der Anordnung in Fig. 4, angebracht sind. Wir

verwerten hierbei die durch die Konvergenzstellung der Augenachsen gegebene Strahlenbegrenzung (siehe Fig. 15) in derselben Weise, wie man mit über Kreuz gestellten Blickrichtungen zwei an der Wand befestigte Halbbilder einer Stereoaufnahme zu einem stereoskopischen Raumbild vereinigt. Der Unterschied ist nur der, daß im vorliegenden Falle die beiden Flächen  $F_1$  und  $F_2$  in Fig. 15 ausschließlich zur Beleuchtung der Marken  $m$  und  $n$  in den beiden Blickrichtungen dienen. Hierbei lenkt man zweckmäßig die in einer horizontalen Ebene gelegenen Blickrichtungen durch einen unmittelbar hinter den Marken angebrachten Spiegel nach unten auf den Tisch, auf den dann die miteinander zu vergleichenden Körper, z. B. zwei Papiersorten, dem Tages- oder Lampenlicht zugewandt, nebeneinander zu liegen kommen. Eine solche einfache Versuchsanordnung ist für mancherlei physiologische Studien, so z. B. für den Vergleich von roten und blauen Farben bei abnehmender Beleuchtung (Studium des Purkinjeschen Phänomens) verwendbar.

Um die vorstehende Anordnung auch zu Messungen verwendbar zu machen, führen wir die beiden horizontalen Blickrichtungen einzeln durch je ein in einem angemessenen Abstand hinter den Marken angebrachtes Reflexionsprisma, dessen vordere vertikale stehende Fläche auf der zugehörigen Blickrichtung senkrecht steht, vertikal nach unten. Wir sind dann in der Lage, die Einrichtungen zu verwenden, wie sie in der Kolorimetrie farbiger Flüssigkeiten benutzt werden und das dort angewandte Verfahren, Messung der Absorption durch Änderung der Höhe einer der beiden Flüssigkeitssäulen, zur Anwendung zu bringen.

Einen Nachteil haben die in diesem Abschnitt beschriebenen Stereophotometer. Denn zu den Anforderungen, die an den Beobachter hinsichtlich seiner Fähigkeit stereoskopisch zu sehen gestellt werden (siehe die Angaben in Abschnitt 13), kommt jetzt noch die weitere hinzu, daß die Pupillen der Augen des Beobachters die gleiche Größe und auch die gleiche Reaktionsfähigkeit gegen Lichtwechsel haben, da von der Größe der Pupille die Helligkeit des Netzhautbildes ebenfalls abhängt. Aus diesem Grunde kann ich den vorstehend bezeichneten Stereo-Photometer-Konstruktionen nicht die praktische Bedeutung zuerkennen, wie sie den im folgenden beschriebenen Konstruktionen, bei denen dieser Nachteil vermieden ist, zukommt.

#### 15. Anwendung von Doppelfernrohren und Ersatz der Marken durch die stereoskopischen Halbbildmarken.

Bei den nachstehend beschriebenen Stereo-Photometern gelangen statt der Marken  $m$  und  $n$  die in den Bildfeldebenen eines für den beidäugigen Einblick eingerichteten Doppelfernrohrs oder eines ebensolchen Doppelmikroskops angebrachten Halbbildmarken zur Anwendung. Daß

das ausführbar ist, beweisen die im ersten Abschnitt beschriebenen am Stereokomparator und Stereoautographen gemachten Beobachtungen, von denen wir ausgegangen sind<sup>1)</sup>. Dadurch ist man in den Stand gesetzt, den am Schlusse des vorigen Abschnittes erwähnten Nachteil zu vermeiden, wozu nur notwendig ist, die optische Einrichtung des Apparates so zu gestalten, daß die Austrittspupillen des Doppelfernrohrs oder des Doppelmikroskops kleiner sind als die Augenpupillen des Beobachters, und dafür zu sorgen ist, daß diese Austrittspupillen auch voll und ganz von den Augen des Beobachters aufgenommen werden (siehe dieserhalb den nächsten Abschnitt).

<sup>1)</sup> Ergänzend zu den in den Abschnitten 1 und 6 beschriebenen Versuchen möchte ich bei dieser Gelegenheit noch bemerken, daß die Erscheinung der kreisenden Marke auch mit Hilfe des Stereo-Telemeters vorgeführt werden kann. Man braucht nur das Raumbild der zur Messung der Entfernung dienenden Marke auf einen freistehenden Gegenstand, z. B. auf eine Kirchturmspitze einzustellen und den Apparat hin und her zu bewegen. Erzeugt man dann durch Anwendung eines der in Abschnitt 1 Seite 555 angegebenen Mittel eine ungleiche Helligkeit links und rechts, so findet sofort ein Kreisen des Objektpunktes um die Meßmarke herum statt. Das Auftreten der kreisenden Marke bildet also auch hier ein willkommenes Reagens auf das Vorhandensein ungleicher Helligkeiten.

Sehr viel schwerer ist der Nachweis einer Helligkeitsdifferenz der beiden Bilder bei den monokularen Entfernungsmessern, und zwar aus dem Grunde, wie ich bereits an früherer Stelle (Seite 563 links unten) ausführte, weil es schwer hält, an den schnell vorbeiziehenden Bildern Einzelheiten ihrer Form zu erkennen. Daher kommt es auch, daß beim monokularen Entfernungsmesser — im Gegensatz zur Stereo-Methode — die Unsicherheit der Einstellung auf Koinzidenz mit wachsender Geschwindigkeit der Bilder immer mehr zunimmt und daß selbst größere Abweichungen, die bei ruhenden Bildern als solche sofort erkannt werden, bei Bildern, die mehr oder weniger schnell das Gesichtsfeld passieren, sich gar leicht der Wahrnehmung entziehen. Daß man bei der Messung bestrebt sein wird, durch entsprechende Nachführung des Entfernungsmessers die Bilder des bewegten Zieles tunlichst in relative Ruhe zum Gesichtsfeld zu bringen, bedarf wohl kaum eines besonderen Hinweises.

Zum Nachweis der Tatsache, daß auch beim monokularen Entfernungsmesser die Empfindung des schwächeren Reizes hinter der des stärkeren Reizes zurückbleibt, benutzte ich den in Fig. 4 Seite 557 dargestellten Hilfsapparat B mit folgender Abänderung. Die beiden Marken wurden entfernt, am oberen Schlitten ein gerader vertikal stehender dünner Stab befestigt und das Fenster mit einem Rauchglase bedeckt, dessen obere Hälfte von der Rauchschicht befreit war. Beim Projizieren des hin- und hergehenden Stabes sieht man dann, daß die obere Stabhälfte auf dem helleren Hintergrunde jedesmal der unteren Stabhälfte voran-eilt. Da die Verschiebung der beiden Stabhälften in der Mitte des Gesichtsfeldes am größten, in den Umkehrlagen aber gleich Null ist, so tut man gut, die Umkehrlagen durch Auflegen von Blenden der Beobachtung zu entziehen. Auf diese Weise vorgegangen, tritt dann das Zurückbleiben der einen Stabhälfte deutlich in die Erscheinung. Wie ich vor kurzem durch Herrn Geheimrat v. Heß erfahren habe, hat er schon im Jahre 1904 genau den gleichen Versuch mit etwas anderen Mitteln, aber mit dem gleichen Erfolg gemacht und darüber im Archiv für Physiol. Bd. 101, Seite 231, berichtet.



Weitere Anforderungen werden an das Doppelfernrohr nicht gestellt. Insonderheit können alle Einrichtungen zur Bildaufrichtung unterbleiben.

Die *Einrichtung der Halbbildmarken und die Vorrichtungen zu ihrer Betätigung* sind bei den nachstehend beschriebenen Instrumenten nicht immer die gleichen. Die in Zukunft zur einheitlichen Ausführung gelangende Anordnung ist so, wie sie in Fig. 16 schematisch wiedergegeben ist. Sie gewährt dem Beobachter die Möglichkeit, von jeder der früher beschriebenen vier Meßmethoden (*a*, *b*, *c* und *d* in Fig. 13) Gebrauch zu machen und diejenige zu wählen, welche ihm am besten zusagt. Die Meinungen darüber sind, wie gesagt, nicht immer die gleichen.

Wie beim Demonstrationsapparat (Fig. 4) dient die Schraube *E* zur Veränderung der Länge *l* der Kurbelstange. Außerdem ist hier eine Schraube *v* vorgesehen, welche den Radius *r* der Drehscheibe und damit den Ausschlag der bewegten Marke zur Seite zu verändern gestattet. Der bei der Anordnung in Fig. 4 für die Übertragung der Bewegung des oberen Schlittens auf

teren Marke mit dem Abstand der oberen Marke in Übereinstimmung zu bringen. Über den Erfolg entscheidet am besten der stereoskopische Anblick der Marken in ihrer Ruhelage.

Als Halbbildmarken habe ich zuerst schwache Keile, dann mit bestem Erfolg ausgesuchte gerade *Nähnadeln* benutzt. Neuerdings hat Herr *Angelroth*, der ein gutes stereoskopisches Sehvermögen besitzt und viele Beobachtungen und Messungen für mich ausgeführt hat, den Versuch gemacht, an den Nadelspitzen kleine *Kugeln* anzubringen, die, wie er und einige andere Beobachter behaupten, für die Beobachtung der kreisenden Marke und das Aufsuchen der Geradlinigkeit der Bewegung besser geeignet seien als die spitzen Marken. Nur ist die genaue Herstellung solcher Kugeln mit der hier erforderlichen Genauigkeit mit allzu großen Schwierigkeiten verbunden.

Bei allen nachstehend beschriebenen Photometern hat der Beobachter aus Gründen, auf die ich im nächsten Abschnitt zurückkommen werde, beim Einblick in das Stereokular seinen Kopf

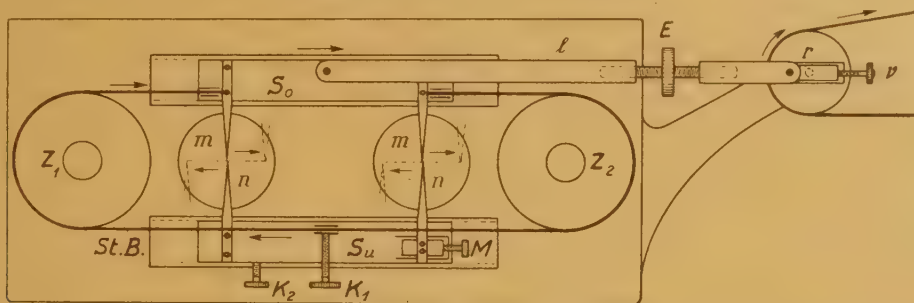


Fig. 16. Die Anordnung der Marken in der Bildflehene des Doppelfernrohrs, welche dem Beobachter unter den durch Fig. 13 dargestellten Arten der Markenbewegung die Auswahl überläßt.

den unteren vorgesehene Doppelhebel hat sich für unsere Meßapparate als nicht recht geeignet erwiesen. Er wurde durch eine Anordnung ersetzt, die den Vorzug hat, daß sie in den Umkehrlagen der Marken, wo leicht ein Stocken der Bewegung eintritt, keinen toten Gang aufweist. Zu dem Ende wurde für die genannte Übertragung der Bewegung ein gespanntes *Stahlband* vorgesehen, das mit seinen Enden am oberen Schlitten *S<sub>o</sub>* dauernd befestigt ist, links und rechts über einen neben dem Okular angebrachten Zylinder auf Kugellager läuft und den unteren Schlitten *S<sub>u</sub>* mitnimmt, wenn die Klemme *K<sub>1</sub>* angezogen ist, oder ihn stehen läßt, wenn *K<sub>1</sub>* nicht angezogen und zur Sicherheit noch *K<sub>2</sub>* angezogen ist. Ferner ist noch die in Fig. 16 sichtbare Mikrometerschraube *M* zu erwähnen, welche es dem Beobachter ermöglicht, den Abstand der beiden unteren Marken voneinander zu verändern. Versieht man diese Schraube mit einer Meßtrommel, so kann sie zur Messung der Tiefenausschläge der kreisenden Marke benutzt werden. Im allgemeinen bleibt die Meßtrommel fort, und man benutzt die Schraube *M* nur dazu, den Abstand der un-

tenlichst ruhig zu halten. Daher wird man ihm auch nicht wohl zumuten dürfen, daß er das zum Bewegen der Marken dienende Kurbelrad etwa durch Drehen mit der Hand selbst in Bewegung setzt. Denn hierbei pendelt der Oberkörper des Beobachters und mit ihm der Kopf leicht hin und her. Ein Schwungrad mit Fußantrieb ist in der Hinsicht schon viel besser. Am besten aber überträgt man die Arbeit einem Gehilfen oder bei Dauerbeobachtungen einem der bekannten für solche Arbeitsleistungen besonders geeigneten *Heinrichschen Heißluftmotoren*.

#### 16. Die Anpassung der Okulare an den Augenabstand des Beobachters

erfolgt in derselben Weise wie beim Stereokomparator, muß aber hier, wo es sich um Helligkeitsmessungen handelt, mit einer sehr viel größeren Sorgfalt vorgenommen werden als dort. Denn die Austrittspupillen des Doppelfernrohrs sollen nicht nur, wie oben angegeben wurde, voll und ganz von den Pupillen des Beobachters aufgenommen werden, sie müssen auch in beiden Augen

gleichgelegen sein, so wie das in a der nachstehenden Figur 17 angedeutet ist. Die Pupille



Fig. 17: Die Lage der Austrittspupillen des Doppelfernrohres innerhalb der Pupillen des Beobachters a) bei richtiger, b) und c) bei falscher Einstellung des Okularabstandes.

des Auges ist dargestellt durch den Kreis. Das kleine Rechteck darin ist die Austrittspupille, das ist in diesem Falle das unmittelbar vor dem

rechts, so findet im ersten Falle sofort eine Abblendung der rechten, im zweiten Falle eine Abblendung der linken Austrittspupille statt. Im ersten Falle verwandelt sich die vorher geradlinige Bewegung des Raumbildes der Marke in eine kreisende links herum und im anderen Falle in eine kreisende rechts herum. Wenn man also hierauf achtet, weiß man auch sofort, wie die Einstellung der Okulare zu verbessern ist. Mit dieser Prüfung und Korrektur fahren wir so lange fort, bis kein Kreisen der Marke beim Hin- und Hergehen des Kopfes mehr eintritt.

Endlich ist noch zu empfehlen, daß Beobachter mit Brille diese beim Einblick in das Doppelokular herunternehmen.

Die *Einstellung der Okulare auf größtmögliche Bildschärfe* hat wie beim Stereokomparator für jedes Auge einzeln und *vor* der Nulleinstellung des Apparates (Regulierung der Beleuch-

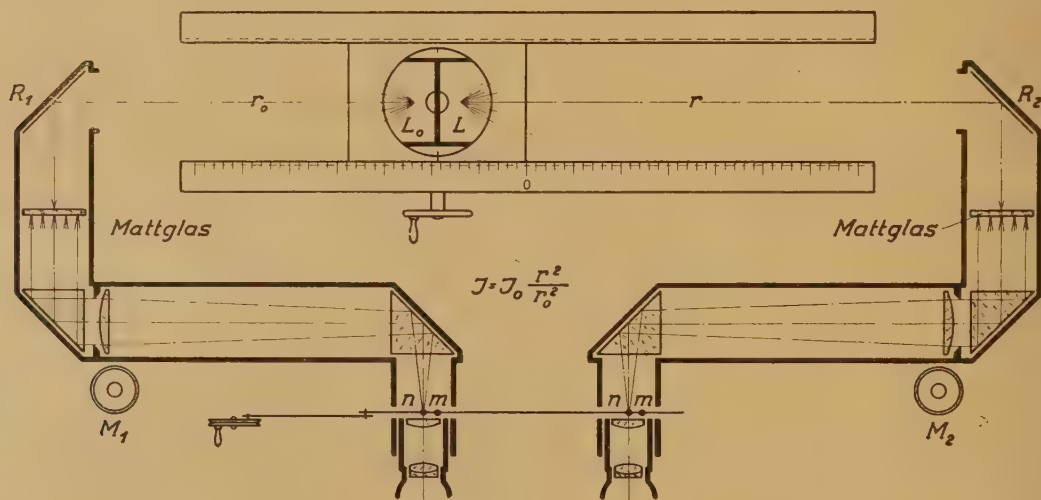


Fig. 18. Ein für den Vergleich zweier Lichtquellen  $L$  und  $L_0$  bestimmtes Stereophotometer.

Okular gelegene stark verkleinerte Bild der vor dem Fernrohrobjektiv angebrachten rechteckigen Öffnung, auf die ich im nächsten Abschnitt noch näher zu sprechen komme. Es ist klar, daß in diesem Falle, aber auch nur in diesem Falle, der Kopf des Beobachters aus der mittleren Lage um mehrere Millimeter nach links und nach rechts verschoben werden kann, ohne daß die Austrittspupille mit dem Pupillenrand des Auges zusammentrifft, und es ist ferner klar, daß selbst für den Fall, daß eine Abblendung eintritt, sie doch, gleichgroße Pupillen des Beobachters vorausgesetzt, für beide Austrittspupillen sehr nahe gleichgroß ist. Das auf Geradlinigkeit der Bewegung eingestellte Raumbild der kreisenden Marke behält daher sein Aussehen beim Hin- und Hergehen des Kopfes fast unverändert bei.

Ganz anders aber liegt die Sache, wenn der Okularabstand entweder zu klein (Fig. 17 b) oder zu groß (Fig. 17 c) ist. Geht man jetzt aus der Mittelstellung mit dem Kopf beispielsweise nach

tung, siehe darüber weiter unten) zu erfolgen. Man hält diese Einstellung, um einer etwaigen Beeinflussung der Nulleinstellung zu entgehen, auch für die sich daran anschließende Messungsreihe *unverändert* bei.

#### 17. Die beim Doppelfernrohr zur Messung der Helligkeiten dienende Vorrichtung, erläutert an einem Stereophotometer, das für den Vergleich zweier Lichtquellen bestimmt ist.

Das Photometer ist zur Zeit der Niederschrift dieser Zeilen noch in Arbeit. Seine Einrichtung ist aus der schematischen Zeichnung Fig. 18 ersichtlich. Das Doppelfernrohr ist ein solches mit erweitertem Objektivabstand. Die beiden miteinander zu vergleichenden Lichter  $L$  und  $L_0$  stehen nahe beieinander, aber getrennt durch eine schwarze Scheidewand, auf einer Drehscheibe und diese auf einem Schlitten, der vom Beobachtungsplatz aus durch eine Kurbel hin und her ge-



schohen werden kann. Die durch die beiden Reflektoren  $R_1$  und  $R_2$  dem Doppelfernrohr zugeführten Strahlen treffen vor ihrem Eintritt in dasselbe beiderseits auf eine mattgeätzte Glasplatte, die dadurch zum Selbstleuchten gebracht wird.

Die Messung kann bei diesem Instrument auf zweierlei Art durchgeführt werden, zunächst in der bekannten Weise, daß man den Schlitten soweit verschiebt, bis Gleichheit der Helligkeiten eintritt. Alsdann entnimmt man den Angaben des Maßstabes die Werte für die Abstände  $r$  und  $r_0$  der Lichtquelle von der Mattscheibe und leitet daraus in bekannter Weise das Helligkeitsverhältnis ab.

Man wiederholt die Messung, nachdem man den Träger der beiden Lichter um  $180^\circ$  gedreht hat, und nimmt das Mittel.

Die andere Art der Helligkeitsmessung, so wie sie auch bei allen nachstehenden Photometerkonstruktionen, die sich auf die Anwendung von Doppelfernrohren gründen, zur Anwendung gelangt ist, beruht auf der Tatsache, daß jeder Lichtpunkt im Bildfeld eines auf unendlich eingestellten Fernrohres hervorgerufen wird durch ein Bündel paralleler Strahlen und daß jede Verminderung des Querschnittes dieses Bündels eine entsprechende Verminderung der Helligkeit des Gesichtsfeldes zur Folge hat. Zu dem Zweck ist vor jedem der beiden Objektive eine *rechteckige Öffnung* angebracht worden, links und rechts genau gleich groß und so beschaffen, daß zwei einander gegenüberstehende Seiten des Rechteckes *symmetrisch nach der Mitte* mit Hilfe einer *Meßschraube* verschoben werden können, während die beiden anderen Seiten ihren Abstand voneinander unverändert beibehalten. Die an der 100-teiligen Trommel abgelesene *Höhe des Rechteckes* ist somit ein Maß nicht nur für den Querschnitt der Öffnung, sondern auch für die von ihr durchgelassene *Lichtmenge*.

Bei allen diesen Doppelfernrohren ist die beschriebene Meßvorrichtung ( $M_1$  und  $M_2$  in Fig. 18) links und rechts deshalb vorgesehen, damit man die Messung durch Vertauschen von links und rechts wiederholen und durch Mittelbildung etwaige einseitige Fehler, die im Beobachter oder in einer fehlerhaften Nulleinstellung liegen, ausgleichen kann. Bei dem vorliegenden Instrument (Fig. 18) geschieht das Vertauschen der beiden Lampen, wie bereits erwähnt, einfach durch Drehen ihres Trägers um  $180^\circ$ . Die Mittelstellung ( $r=r_0$ ) bleibt natürlich hierbei die gleiche.

#### 18. Einige weitere Photometerkonstruktionen für Helligkeitsmessungen im spektral unzerlegten Licht.

Eine andere Anordnung des Doppelfernrohrs zeigt der in Fig. 19 dargestellte Apparat. Auch hier ist jedes Fernrohr ausgerüstet mit dem zur

Messung dienenden Objektivspalt  $Sp$  und der Mikrometervorrichtung  $M$ . Die Trommelteilungen von  $M_1$  und  $M_2$  werden beleuchtet durch eine Glühlampe  $B$ , die nach dem Beobachter zu mit einem Blendschirm versehen und jedenfalls gleich nach der Ablesung wieder auszuschalten ist. Die Reflexionsprismen  $P_1$  und  $P_2$  sind auf die Objektivenden aufsteckbar und um die Rohrachse zum Drehen eingerichtet.

In der in Fig. 19 gezeichneten Lage der Prismen ist der Apparat für den Vergleich der Beleuchtungsstärke zweier Lichtquellen verwendbar, nur muß man vorher noch zwischen Objektivspalt

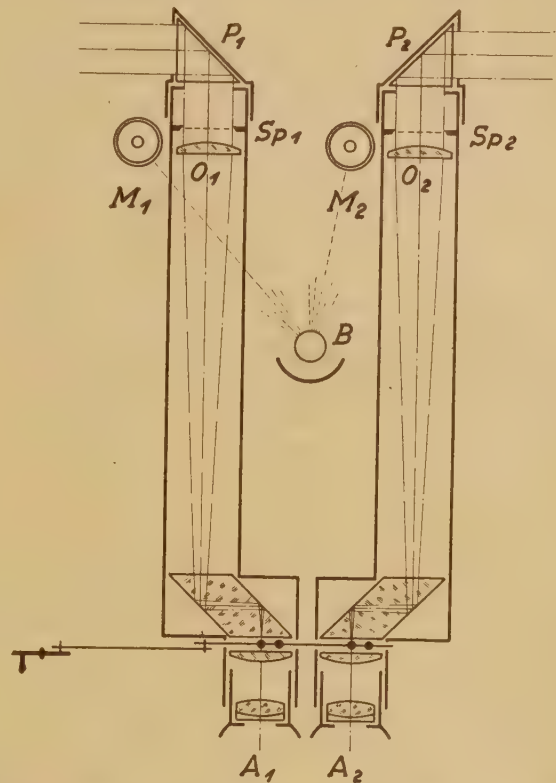


Fig. 19. Schnittzeichnung durch das in Fig. 20 wiedergegebene Stereophotometer.

und Prisma eine Mattglasplatte einfügen, die dann als sekundäre Lichtquelle wirkt.

Eine andere Verwendungsart besteht darin, daß man die Prismen nach unten richtet und auf den Tisch zwei ebene Flächen, z. B. zwei Papiersorten, nebeneinander legt, deren Helligkeitsverhältnis gemessen werden soll; ebenso kann man die Prismen auf verschiedene Stellen des Himmels oder die Wände eines Zimmers richten und deren Helligkeiten miteinander vergleichen.

Auch für die Messung des Lichtverlustes in festen und flüssigen Körpern ist der Apparat verwendbar. Farbige Glasplatten legt man einfach auf die nach oben gerichteten Prismen und beleuchtet von oben. Farbige Flüssigkeiten bringt man in die im 14. Abschnitt erwähnten Kalorimetergefäße und stellt diese unter die nach unten

gerichteten Prismen. Die Beleuchtung erfolgt in diesem Falle, wie üblich, von unten.

Fig. 20 zeigt dasselbe Instrument in der Anordnung, in der es von Herrn Geheimrat *Haber* bei seinen *oben erwähnten Messungen an kolloidalen Lösungen* mit größtem Erfolg benutzt wird. Unter jedes der beiden nach unten gerichteten Prismen ist ein an seinem unteren Ende durch eine ebene Glasplatte geschlossener Rohrstutzen befestigt, von denen der eine in die zu untersuchende Flüssigkeit, der andere in die Vergleichsflüssigkeit eintaucht. Damit sich keine größeren Luftblasen unter der Glasplatte ansammeln können, ist sie etwas schräg gestellt. Kleinere Luftblasen werden abgewischt, nachdem die Beobachtung der Austrittspupille mit einer Lupe die Existenz solcher Luftblasen auf der unteren Seite der Glasplatte dargetan hat. Beide

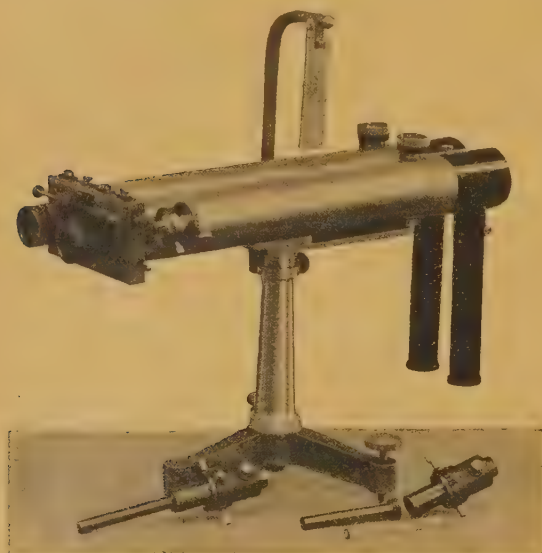


Fig. 20. Das Stereophotometer für physikalisch-chemische und photochemische Laboratorien.

Gefäße werden von oben durch eine Scheinwerferlampe beleuchtet, und man vergleicht jetzt die aus der Flüssigkeit heraus in die Rohre eintretenden Lichtmengen.

Eine weitere Verwendungsmöglichkeit des Photometers besteht darin, daß man die beiden langen Rohrstutzen in Fig. 20 entfernt und an ihre Stelle die in Fig. 20 neben dem Apparat gelegenen Zusatzteile einfügt. Diese bestehen aus zwei Objektiven in Fassung und zwei Kapillaren, diese von 10 cm Länge und 2–3 mm innerem Durchmesser. Die Objektive haben den gleichen Durchmesser wie die des Doppelfernrohrs, aber eine wesentlich kürzere Brennweite. Durch diese Zusatzobjektive wird also unter Doppelfernrohr zu einem *Doppelmikroskop* und das Photometer zu einem *Mikrophotometer*, mit dem man imstande ist, die von kleinen Flächen ausgehende Lichtmengen zu messen. Die Anordnung ist erstmalig von Herrn Geheimrat *Haber* in Gebrauch

genommen worden, dem es darauf ankam, die Lichtemission von Flüssigkeiten messend zu vergleichen, die ihm nur in kleinen Mengen zur Verfügung standen. Zur Aufnahme der Flüssigkeiten dienen die beiden vorerwähnten Kapillaren. Nach erfolgter Füllung wird das obere Ende durch eine Deckglasplatte geschlossen und die Kapillare so unter dem Objektiv befestigt, daß ihr oberes Ende in die vordere Brennebene des Mikroskopobjektivs zu liegen kommt. Von dem beleuchteten Querschnitt der Kapillare erscheint dann ein stark vergrößertes, das ganze Gesichtsfeld ausfüllendes Bild, dessen genaue Zentrierung mit Hilfe der an dem Mikroskopobjektiv angebrachten seitlichen Stellschrauben vorgenommen wird. Die Kapillaren werden von unten durchleuchtet.

Will man denselben Apparat in photochemischen Laboratorien zur Messung der Licht-

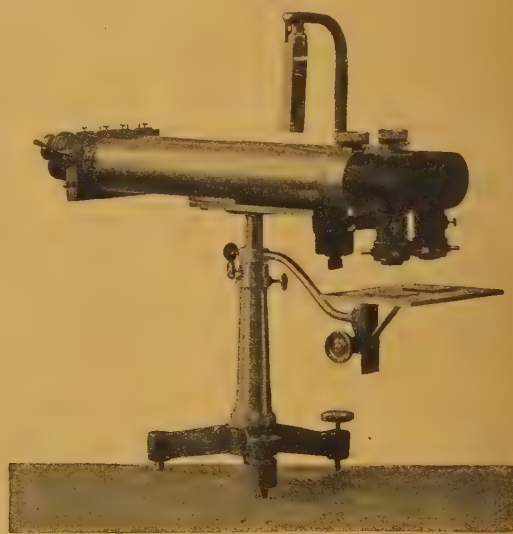


Fig. 21. Dasselbe Instrument in seiner Eigenschaft als Mikrophotometer.

durchlässigkeit kleinerer Teile von photographischen Schichten oder auf Sternwarten zum Photometrieren der Gestirne an photographischen Sternaufnahmen verwenden, so ergibt sich eine Anordnung, wie sie in Fig. 21 dargestellt ist. An der Stelle, wo sich vorher das obere Ende der Kapillare befand, ist jetzt ein in der Höhe verstellbarer Objektisch mit zwei Durchblicksöffnungen angebracht, auf die dann die miteinander zu vergleichenden Präparate zu liegen kommen. Daß man den Apparat in dieser Form auch zur Messung der Absorption in farbigen Flüssigkeiten verwenden kann, bedarf wohl kaum eines besonderen Hinweises.

Bei den beiden vorbeschriebenen Versuchsinstrumenten liegen die beiden Fernrohrobjektive und demzufolge auch die beiden Rohre in Fig. 20 und die beiden Mikroskopobjektive in Fig. 21 ungefähr im Augenabstand nebeneinander. Bei den von jetzt an definitiv zu bauenden Apparaten ist



infolge der aus Fig. 19 ersichtlichen Anordnung dieser Abstand auf das Doppelte gebracht worden, so wie das bei dem jetzt zu beschreibenden weiteren Stereophotometer bereits der Fall ist.

Der in den Figuren 22 und 22a veranschaulichte Apparat ist hauptsächlich für den Gebrauch in *technischen Laboratorien* bestimmt und soll dazu dienen, die Messung der *Lichtdurchlässigkeit farbiger Flüssigkeiten* und auch solcher *fester Körper* (Paraffin z. B.) zu ermöglichen, die bei einer Erwärmung auf  $100^{\circ}\text{C}$  flüssig werden. Die Reflexionsprismen  $P_1$  und  $P_2$  in Fig. 19 sind vom Apparat heruntergenommen worden. An ihrer Stelle befinden sich jetzt die Träger für die beiden Absorptionsgefäße. Zur Aufnahme der zu unter-

in der Verlängerung der Rohrachsen aufgestellt sind und von einer weißen Lichtquelle  $WL$  beleuchtet werden. Der Abstand der beiden Schirme  $R_1$  und  $R_2$  von dem zugehörigen Absorptionsgefäß kann verändert werden, so daß man nicht allein für die Zwecke der Nulleinstellung des Apparates das Helligkeitsverhältnis der beiden Schirme, sondern auch die Helligkeit selbst verändern kann. Gegen direkte von der Lampe ausgehende Strahlen sind die Gefäße sowohl als auch der Beobachter durch eine Blendvorrichtung geschützt. Mit dem so eingerichteten Apparat sind die im

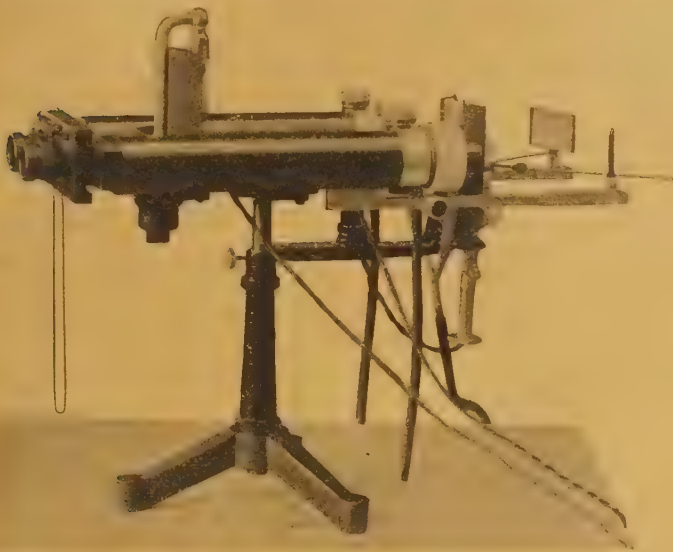


Fig. 22. Ein Stereophotometer für technische Zwecke, für die Messung des Lichtverlustes in flüssigen und flüssig gemachten Körpern mit durch Wasserdampf heizbaren Absorptionsgefäßen.

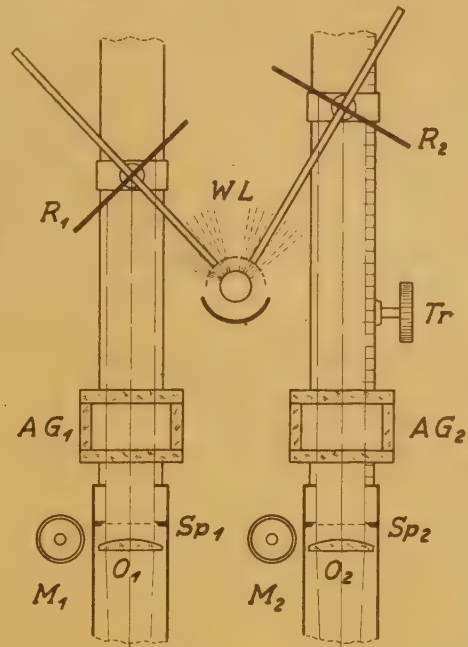


Fig. 22a. Schnittzeichnung durch den in Fig. 22 wiedergegebenen Apparat.

suchenden Körper dienen gläserne Hohlzylinder mit aufgeschmolzenen Verschußglasplatten. Die Füllöffnung befindet sich im Mantel des Zylinders. Die gegenüberliegende Stelle des Mantels ist eben geschliffen, damit das für den horizontalen, axialen Durchblick bestimmte Gefäß eine sichere Auflage erhält.

Nach erfolgter Beschickung des Gefäßes mit dem zu untersuchenden Körper wird es auf einen ausziehbaren Schlitten gesetzt, bis vor den Objektivspalt vorgeschoben und die Verschußklappe vorgelegt. Der erste Apparat dieser Art war noch ohne Heizeinrichtung. Bei den in Fig. 22 dargestellten Apparaten ist der Raum, in dem sich das Gefäß befindet, von einer Heizspirale umgeben, durch die man den Dampf siedenden Wassers hindurchleiten kann. Von dem Fortschritt der Schmelzung fester Teile im Gefäß überzeugt man sich zweckmäßig durch Betrachtung der Austrittspupille mit einer Lupe.

Zur Beleuchtung dienen zwei weiße, einsteckbare Zelluloidschirme ( $R_1$  und  $R_2$  in Fig. 22a), die

nächsten Abschnitt beschriebenen Versuche ausgeführt worden. Als Lichtquelle diente eine Osramlampe mit mattgeschliffener kugelförmiger Birne. Bei dem vorerwähnten ersten Apparat — ohne Heizeinrichtung — wurde die Beleuchtung der beiden Schirme durch eine Petroleumlampe mit Rundbrenner bewirkt.

Die Anordnung vor den Objektivspalten des Doppelfernrohres kann auch so getroffen werden, daß man auf ein besonderes vor den Objektiven angebrachtes Gestell ein aus Glas angefertigtes Gefäß von würfelförmiger Gestalt setzt, jedes der beiden Gefäße durch eine Lampe beleuchtet, die aber um eine unter dem Gefäß angebrachte Vertikalachse zum Drehen eingerichtet ist. Die so getroffene Anordnung ist besonders für die *Untersuchung trüber Medien* und für das *Studium des Tyndalleffektes* zu verwenden.

Man sieht also, der Anwendungen für unser Doppelfernrohr sind viele, und die Einrichtungen hierzu ergeben sich in jedem Falle ganz von selbst.

Die Einrichtung des Doppelfernrohrs mit den Objektivspalten ist bei allen diesen Apparaten die gleiche und es ist darauf Rücksicht genommen, daß, je nach dem Zweck, dem der Apparat dienen soll, die Zusatzteile nachträglich daran angebracht und, wenn erforderlich, gegen andere Zusatzteile ausgewechselt werden können.

(Fortsetzung folgt.)

## Besprechungen.

**Pringsheim, Peter, Fluoreszenz und Phosphoreszenz im Lichte der neueren Atomtheorie.** Berlin, Julius Springer, 1921. VII, 202 S. und 32 Abbildungen. Preis M. 48,—.

So wie der Zufall bei der Entdeckung der Erscheinungen, die unter dem Namen Fluoreszenz und Phosphoreszenz bekannt sind, die ausschlaggebende Rolle gespielt hat, so ist auch die nächste diesem Zeitpunkt folgende Bereicherung unserer Kenntnis von diesen Phänomenen im wesentlichen ihm oder höchstens einem mehr spielerischen Beobachtungstrieb der Menschen, sicherlich aber zum wenigsten einer Tätigkeit zu danken, die den Namen wissenschaftliche Forschung verdiente. Von dieser vom 17. bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts reichenden Entwicklung gibt der erste Teil der von *Konon* herrührenden, wesentlich nach historischen Gesichtspunkten geordneten, zusammenfassenden Darstellung der Fluoreszenz und Phosphoreszenz im 4. Bande des großen Handbuches von *Kayser* ein beredtes Zeugnis. Erst seit diesem Zeitpunkte kann man von einer wirklich wissenschaftlich kritischen Durchforschung dieses Gebietes nach bestimmten allgemeinen Grundsätzen reden, und wenn man von den vielen Forschern, die an der weiteren fruchtbaren Entwicklung hervorragend beteiligt sind, drei Namen nennen soll, so sind es *Stokes*, *Lenard* und *Wood*. Aber bis in die neueste Zeit blieben die theoretischen Vorstellungen, die für die experimentelle Forschung als Richtlinien dienten, aufs Qualitative und stark Hypothetische beschränkt, und die wichtige quantitative, das ganze Gebiet beherrschende Stokes'sche Regel, die aussagt, daß das Fluoreszenz- oder Phosphoreszenzlicht stets langwelliger ist als die kürzeste im anregenden Licht vorkommende Wellenlänge, entzog sich mit konstanter Bosheit jeder vernünftigen theoretischen Deutung. Heute ist das Verständnis dieser Regel fast zur Selbstverständlichkeit geworden, seit *Einstein* durch Anwendung der Quantenhypothese auf die Fluoreszenz zeigte, daß die Stokes'sche Regel nichts anderes ist als der Ausdruck des Energieprinzips, angewandt auf das Lichtquant  $h \cdot \nu$ . Und entsprechend dieser fundamentalen Erkenntnis ist auch die neueste Entwicklung des theoretischen Verständnisses der Fluoreszenz- und Phosphoreszenzerscheinungen unweigerlich mit den Fortschritten der Quantentheorie und ihrer Erweiterung auf die Fragen des Atombaus verknüpft. Es erübrigt sich, hier auf das Bohrsche Atommodell und alles, was damit zusammenhängt, hinzuweisen. Jedenfalls ist der Zustand heute der, daß wir das gesamte Gebiet der Fluoreszenz- und Phosphoreszenzerscheinungen von einem völlig veränderten Standpunkt aus betrachten können und müssen als etwa noch vor zehn Jahren. Es ist ohne weiteres klar, daß es bei dieser Lage der Dinge von jedem, der sich als Forscher, Lehrer oder Lernender mit dem in Frage stehenden Gebiete beschäftigen will, als zwingendes Bedürfnis empfunden wird, ein Buch zu haben, das

die große Fülle experimentellen Materials, das seit langer Zeit vorhanden ist, nach den durch die moderne Atomtheorie gegebenen Gesichtspunkten geordnet und kritisch gesichtet in übersichtlicher und klarer Form darstellt. Diese Aufgabe ist von *P. Pringsheim*, um ein Gesamturteil gleich vorweg zu nehmen, in so glänzender Weise gelöst worden, daß sich sein im Titel genanntes Buch dem Besten, was es in der modernen physikalischen Literatur gibt, würdig an die Seite stellt. Ordnung und Kritik wurden schon oben als die besonderen Merkmale des Buches bezeichnet. Wenn wir jetzt die Möglichkeit haben, das in zahllosen Originalarbeiten zerstreute Forschungsmaterial in übersichtlicher Form geordnet und mit genauen Literaturangaben versehen zu überblicken, so verdanken wir es *Pringsheim*, der sich während der Jahre seiner Kriegsgefangenschaft der mühevollen Aufgabe unterzogen hat, dies riesenhafte Material vollständig durchzuarbeiten. Dadurch ist aber nun keineswegs ein Werk entstanden mit ähnlicher Anordnung wie im Handbuch von *Kayser*, wo entsprechend dem zeitlichen Entstehen eine Arbeit neben der anderen referiert ist, sondern alles ist zusammengefaßt unter den leitenden Gedanken der Atomtheorie. Dazu kommt die kritische Schärfe, mit der *Pringsheim* das Wertvolle vom Wertlosen absondert und die experimentellen Ergebnisse nach den neuen Anschauungen zum Teil völlig neu deutet, so daß auch in der von ihm gegebenen Darstellung eine Fülle von eigenen und originellen Gedanken enthalten ist.

Wenn wir nun auf den Inhalt kurz einzugehen versuchen, so macht sich bei den ersten fünf Kapiteln, die nach einer Einleitung die Resonanzstrahlung, die Resonanzspektren, die Bandenfluoreszenz sowie Leuchtdauer und Polarisation der Fluoreszenzstrahlung von Gasen und Dämpfen behandeln, der Einfluß der Bohrschen Atomtheorie, die als Leitstern über dem Ganzen schwebt, besonders bemerkbar. Hier können wir die Erscheinungen qualitativ weitgehend, quantitativ in vielen Fällen deuten und verstehen, und es ist ein Vergnügen, *Pringsheims* klaren Ausführungen in diesen Kapiteln zu folgen. Gehen wir nun vom gasförmigen zum flüssigen und festen Zustand über, so werden entsprechend der engeren Aneinanderlagerung der Atome und Moleküle und der damit zusammenhängenden gegenseitigen Beeinflussung die Erscheinungen komplizierter und ihre Deutung schwieriger. Trotzdem bewähren sich auch hier bei den in den folgenden Kapiteln behandelten Erscheinungen der Fluoreszenz und Phosphoreszenz fester und flüssiger Lösungen, und der Phosphoreszenz der Lenardschen Erdalkaliphosphore die leitenden Gesichtspunkte, ohne daß allerdings mehr als eine qualitative Deutung der Erscheinungen gelingt. Die beiden letzten Kapitel über die Linienfluoreszenz der Kristalle und die Fluoreszenz organischer Verbindungen führen uns ein in ein vom rein experimentellen Standpunkt äußerst reizvolles Forschungsgebiet, von dem aber wohl das, was schon von den vorhergehenden Kapiteln gesagt wurde, in noch viel stärkerem Maße gilt. Um so wichtiger ist es, daß auch diese Dinge hier erstmalig eine sorgfältige und klare Darstellung erfahren.

Abschließend muß man sagen, daß das *Pringsheim'sche* Buch für den modernen Physiker ein unentbehrliches Hilfsmittel darstellt, aber auch jeder naturwissenschaftlich Interessierte wird aus dem Buche viel Anregung, und wenn er sich in die Probleme eingehender vertieft, viel wertvolle Belehrung entnehmen können.

W. Grotrian, Göttingen.



## Mitteilungen aus verschiedenen biologischen Gebieten.

**Über die Artbastarde und die Vererbung ihrer Kennzeichen.** Die sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig hielt am 1. Juli, dem Geburtstage des großen Philosophen *Leibnitz* und ihrem Gründungstage, ihre öffentliche Sommersitzung vor einem zahlreichen Auditorium ab. Eingeleitet wurde diese durch eine Ansprache des Vorsitzenden Sekretärs Herrn *Le Blanc*, der eine Übersicht über die Entwicklung der Akademie im letzten Jahre gab, der schweren Verluste durch den Tod hervorragender Mitglieder gedachte, die tatkräftige Unterstützung durch die Gesellschaft der Förderer und Freunde sowie durch die Notgemeinschaft, desgleichen die verständnisvolle Fürsorge der sächsischen Ministerien und des sächsischen Landtages gebührend hervorhob, durch welche die fortlaufenden Akademie-Veröffentlichungen ohne allzu große Hemmnisse zu einem gedeihlichen Ende geführt werden konnten, und zum Schluß auf den umfangreichen, von so ziemlich sämtlichen Auslandsstaaten, auch den damaligen Kriegsgegnern wieder eingeleiteten Schriftenaustausch hinwies, durch dessen Wert allein schon die aufgewendeten Gelder mehr als hinreichend aufgewogen würden. Hierauf berichtete Herr Professor *Meisenheimer*, ordentliches Mitglied der Mathematisch-physischen Klasse der Akademie, über *Artbastarde und die Vererbung ihrer Kennzeichen* an der Hand zahlreicher vortrefflicher Lichtbilder.

Rassen- und Artkreuzungen liefern fast das gesamte Fundament der modernen Vererbungslehre. Was bei Rassenkreuzungen geschieht, das ist zu einer tiefgründigen Analyse geführt worden durch die Anwendung der Mendelschen Spaltungsregeln. Es entsteht in der ersten Tochtergeneration durch Zusammen-treten zweier gegensätzlicher Rassenmerkmale ein Mischtypus, der bald in seinem Äußeren die Kennzeichen beider Merkmale trägt, bald in scharfer Dominanz des einen Merkmals nur dieses eine hervortreten läßt. In der Folge hat dieser Mischtypus niemals Bestand, er löst sich wieder auf in die ursprünglichen Komponenten, aus deren Veranlagung er hervorgegangen ist, es findet eine Spaltung der Erbanlagen der gegensätzlichen Merkmale statt. Bei Artkreuzungen zeigt zunächst die erste Tochtergeneration stets einen Mischtypus, hervorgehend aus wechselvollster Kombination der Merkmale beider Elternformen, wie sich leicht an pflanzlichen wie tierischen Artbastarden nachweisen läßt. Zur Beurteilung des genetischen Wertes dieser neuen Mischtypen ist die Kenntnis des Verhaltens nachfolgender Tochtergenerationen auch hier unbedingt erforderlich, es ist außerordentlich schwierig, auf dem Wege des Kreuzungsexperiments solche zu erhalten, da die Artbastarde zumeist unfruchtbar sind, keine entwicklungsfähigen Keime zu erzeugen vermögen.

Reine Tochtergenerationen zweiten Grades sind nur ganz ausnahmsweise bis jetzt zu erzielen gewesen, leichter ist die Gewinnung von Rückkreuzungsgenerationen durch Anpaarung der ersten Tochtergeneration an eine der beiden Elternformen. Eigene Versuche führten das erfolgreich durch an zwei verschiedenen Spannerarten, an *Biston pomonarius* und *Biston hirtarius*. Der Mischtypus der ersten Tochtergeneration prägt sich besonders deutlich an den Weibchenformen aus, da die hier zusammentretenden

Merkmale außerordentlich verschieden sind. Das Weibchen von *Biston pomonarius* weist nur ganz kurze Stummelflügel auf, das Weibchen von *Biston hirtarius* besitzt völlig normale Vollflügel, die Bastardweibchen tragen in Größe wie Form typisch intermediär gestaltete lanzettförmige Flügel. Die Rückkreuzung ist namentlich erfolgreich mit den Bastardmännchen. Bei Anpaarung an die beiden weiblichen Elternformen ließen diese neuen Kombinationen sofort die entsprechenden Elterntypen viel schärfer wieder hervortreten, es traten neue selbständige Mischtypen auf, die jetzt die Mitte hielten zwischen der Bastardform der ersten Tochtergeneration und der zur Rückkreuzung verwendeten Elternart. Wiederum kam das an der Flügelform der Weibchen besonders scharf zum Ausdruck; war der Bastardflügel der ersten Tochtergeneration ein Halbflügel, so entsteht bei Rückkreuzung mit *pomonarius*-Weibchen ein Viertel-flügel, bei Rückkreuzung mit *hirtarius*-Weibchen ein Dreiviertel-flügel. Und das bedeutet denkbar schärfsten Gegensatz zum Verlauf einer Mendelschen Vererbung. Im letzteren Typus ständiger Zerfall der zu einer nur scheinbaren Einheit in der ersten Tochtergeneration verbundenen Merkmale, bei der Artkreuzung von *Biston* innigste Durchdringung der zu einer wirklichen Einheit verbundenen Merkmale gegensätzlicher Herkunft, ihr Zusammenfügen zu einer nicht mehr lösbaren Neubildung, die Bestand hat. Und das kann von Bedeutung sein für den Artbildungsprozeß, es können aus solchen Neubildungen konstante neue Arten hervorgehen, wofür als Belege für Geschehnisse in der freien Natur die zahlreichen Kleinarten des Hungerblümchens (*Erophila*), manche Fasanarten herangezogen werden können.

**Über das Becken, den Schultergürtel und einige andere Teile der Londoner *Archaeopteryx*.** Unter diesem Titel liegt eine sehr interessante Arbeit des Londoner Forschers *Petronievics* aus dem Jahr 1921 vor. Aus einer vorläufigen Mitteilung, die der Autor zusammen mit *A. Woodward*, dem Direktor der geologischen Abteilung im British Museum herausgegeben hat, *Proc. Zool. Soc.* 1917, hatte man schon erfahren, daß *Petronievics* neue Präparationen an dem 1861 in den Solnhofener Schiefer gefundenen Exemplar des Urvogels *Archaeopteryx*, das sich in London befindet, vorgenommen hatte, die in glücklicher und kühner Weise tief in die Platte eindringend Skeletteile freilegte, die bisher ganz oder teilweise unerkant gewesen waren. Der kurzen ersten Mitteilung folgt hier die ausführliche Beschreibung in deutscher Sprache, also offenbar für Leser in Deutschland bestimmt. Referent kann es nicht unterlassen, seinem Befremden hier Ausdruck zu geben, daß diese Veröffentlichung trotzdem nicht in Deutschland, sondern in der französischen Schweiz erschienen ist! *P.* beabsichtigt das Berliner Exemplar des Urvogels, das 1877 gefunden wurde, einer eingehenden Untersuchung zu unterziehen und kündigt eine weitergehende Veröffentlichung danach an.

Ganz neu bearbeitet und beschrieben sind die Pubes und das Coracoid, so daß Schultergürtel und Becken bei dem Londoner Exemplar jetzt sehr genau bekannt sind. Besonders interessant muß da der Vergleich sein, den *P.* zwischen seinen neuen Funden und fossilen wie rezenten Reptilien und Vögeln anstellt, und er sollte Aussicht eröffnen auf völlige Klarlegung der phylogenetischen Stellung, die wir den beiden Urvögeln als Zwischengliedern zwischen den eidechsenähnlichen Reptilien und den Vögeln zuweisen müssen.



Leider ist das aber auch jetzt noch nicht möglich. Die am meisten auffallende Tatsache, die der Vergleich aufdeckt, ist die, daß die Unterschiede zwischen beiden Urvögeln viel größer sind als bisher angenommen wurde. Sie sind so groß, daß *P.* vorschlägt, beide als verschiedene Familien zu betrachten, und er behält, da das Londoner Exemplar zuerst gefunden wurde, für dieses den alten Namen bei und nennt es *Archaeopteryx oweni*, während er dem Berliner Stück den Namen *Archaeornis siemensii* geben will. Wenn das für eine phylogenetische Beurteilung schon Bedenken erregt, so noch mehr, wenn die primitiven und die spezialisierten Merkmale sich an den einzelnen Organen nicht alle gleichgesinnt verhalten, ja sich sogar gegensätzlich verhalten können, wie im vorliegenden Beispiel der Neigungswinkel der Pubes. Schon jetzt deshalb die beiden Urvögel für so sichergestellt zu halten, daß man in *Archaeornis* den Vorläufer der Carinaten und in *Archaeopteryx* den der Ratiten zu sehen hätte, ist zweifellos gewagt und wird Widerspruch finden. Wir werden es weiteren glücklichen Funden überlassen müssen, zu entscheiden, wieweit die Unterschiede an beiden Exemplaren auf festen Artmerkmalen beruhen, und in welchem Umfang sie als Folgen normaler Variabilität anzusprechen sind. Oder aber wir werden die Frage nach dem Ursprung der Vögel mit ganz anderen Methoden angreifen müssen. Die Paläontologie muß ja immer da besonders zurückhaltend sein, wo zur Beurteilung nur wenig Material vorliegt, und wo dies überdies durch den Fossilisationsprozeß von seinem natürlichen Verhalten viel eingebüßt haben kann. Deshalb ist es wohl richtig, wenn man bei der Bewertung morphologischer Unterschiede der beiden einzigen Urvögel, die wir besitzen, nicht zu großes Gewicht auf feine Einzelheiten legt, wie mir das in vorliegender Arbeit geschehen zu sein scheint.

Böker.

**Bodenfauna und Fischertrag in Seen.** Mit dieser Frage beschäftigt sich der schwedische Fischereibiologe Gunnar Alm in einer umfangreichen Abhandlung (Bottenfaunan och fiskens biologi i Yxtasjön samt Jämförande studier öfver Bottenfauna och fiskavkastning i varasjöer mit deutschem Resumé. — Medd. Kungl. Lantbruksstyr. 236, 2, 1922). Die in erster Linie aus Zuckmücken-(Chironomiden-)Larven, Larven der Büschelmücke (*Corethra*) und Würmern (*Oligochaeten*) bestehende Bodenfauna ist zunächst in ihrer quantitativen Entwicklung abhängig von der Art des *Tiefenschlammes*: ihr Gewicht steigt mit dem Gehalt an Faulschlamm (*Gyttja*) und fällt mit dem Gehalt an Humusschlamm (*Dy*). Die hierfür festgestellten Extremfälle sind einerseits 200 Tiere und 2,4 g und andererseits 4 Tiere und 0,005 g auf 10 dm<sup>2</sup>. Die Menge der Bodentiere an den verschiedenen Stellen in einem einzigen See kann demnach auch recht verschieden sein. Die Unterschiede am selben Ort zu verschiedenen Zeiten können ebenfalls recht beträchtlich sein. Das größte Gewicht wird gefunden in der Zeit vom Spätwinter bis Vorsommer. Die hierfür maßgebenden Faktoren sind die erhöhte Nahrungsaufnahme der Fische zur warmen Jahreszeit und vor allem der Abschluß und Wiederbeginn der Entwicklungsperiode der Insekten im Sommer. Nach der Tiefe zu wurde überall und zu jeder Zeit Abnahme von Menge und Gewicht der Tiere festgestellt. Die von Jahr zu Jahr schwankenden klimatischen Verhältnisse üben vermutlich eine starke Wirkung aus auf den Bestand an Tiefentieren; besonders einschneidend dürfte

dieser Einfluß während der Schwärmperiode der Insekten zur Geltung kommen. Alm kommt, indem er die Bodenfauna als Hauptfaktor einsetzt, zu folgender — auch fischereiliche Werturteile enthaltenden — *Einteilung der Seen*: I. Nährstoffreiche Seen mit viel Phytoplankton (eutrophe Seen): 1. *Plumosus*-Typus (kleinere Seen mit reichlicher Bodenfauna, hauptsächlich *Chironomus plumosus*, hohem Fischertrag, 10 kg und mehr pro Hektar; wichtigste Fische: Cypriniden); 2. *Oligochaeten*-Typus (große, tiefe Seen, mit ziemlich reicher Bodenfauna, viel *Oligochaeten*; Fischertrag ziemlich niedrig, wichtigste Fische: Brachsen, Zander, Maräne). II. Nährstoffarme Seen mit wenig Phytoplankton (oligotrophe Seen): 3. *Tanypus*-Typus (kleine und große Seen, mit spärlicher bis reicher Bodenfauna, fast immer *Tanypus*-larven und oft Pisidien; Fischertrag variierend, meist niedrig, 2—4 kg pro Hektar); 4. *Corethra*-Typus (kleine Seen, meist auf moorigem Grund, mit *Dy*-Schlamm; arme Fauna, niedriger Fischertrag, zuweilen etwas höher, wenn Uferfauna und Plankton als Nahrungsquellen in Betracht kommen; Fische: Hecht, Plötze, Karausche); 5. *Amphipoden*-Typus (große, tiefe, kalte Seen mit variierender, oft reicher Fauna, maringlacialen Relikten; Fischertrag niedrig; Salmoniden); 6. *Otomesostoma*-Typus (kleine und große kalte Seen mit spärlicher Fauna, stets der Strudelwurm *Otomesostoma*; Fischertrag verschieden; Salmoniden). Über den Wert einzelner Seetypen ließe sich streiten (so z. B. den 3. Typus); indes ist zu bedenken, daß ganz allgemein die Objekte der Natur sich nie in ein starres Schema pressen lassen, sondern durch die Übergänge und Zwischenformen, die sie zeigen, zu Kompromissen nötigen. In diesem Falle wird sich zeigen müssen, ob die praktische Fischereibiologie mit den gegebenen Seetypen arbeiten kann. Wesentlicher erscheint ein anderes Ergebnis der Almschen Abhandlung: der zahlenmäßige Ausdruck des Verhältnisses von Bodenfauna und Fischertrag im *F<sub>b</sub>-Koeffizienten* (Fischertrag — Bodenproduktion). Er hat natürlich nur da Bedeutung, wo es sich um Fischarten handelt, die hauptsächlich von Bodentieren leben. Für einen See mit vorwiegend Planktonfressern ist der *F<sub>b</sub>-Koeffizient* selbstverständlich illusorisch. Der praktische Wert des *F<sub>b</sub>-Koeffizienten* für die Fischerei (z. B. als Indikator verbesserungsfähiger Verhältnisse) liegt auf der Hand.

Über Nahrung und Wachstum der Fische macht H. Järnefelt eingehende Angaben in seinen „Untersuchungen über die Fische und ihre Nahrung im Tuusulasee“ (*Acta soc. pro fauna et flora fennica* 52, Nr. 1, 1921). Er stellt fest, daß nicht die absolute Menge der Bodentiere — natürlich nur für Bodentierfresser — maßgebend sei für die Wachstumsgeschwindigkeit bei Fischen, sondern die Art der Nahrung. Die Fische treffen — wie ja schon länger bekannt ist — eine Auswahl beim Fressen. Man kann sagen, daß jeder Fisch seine Lieblingsnahrung hat. Sein bestes Wachstum erreicht er demgemäß bei reichlichem Vorhandensein dieser bevorzugten Nahrung. Ist sie spärlich vorhanden — mag auch andere Nahrung im Überfluß da sein —, so kann das Wachstum ein recht schlechtes sein. Die übrige Nahrung wird mehr oder weniger als Notbehelf dienen. Indes ist die Wachstumsfrage nicht einseitig von diesem einen Gesichtspunkt aus zu beurteilen. Es sind schließlich auch noch andere Faktoren da, die hier beeinflussend mitwirken. Sehr wichtig ist das Vorhandensein von passenden



Laichplätzen; eine große Rolle spielt außerdem noch die Frage, ob bei reichlicher Lieblingsnahrung auch die geeignete Nahrung für die Jungfische — die ja doch durchweg eine andere ist als für die ausgewachsenen Tiere — in genügender Menge vorhanden ist und umgekehrt. Die quantitative Untersuchung der Bodenfauna zeitigt als für die praktische Fischerei wesentliches Ergebnis die Abhängigkeit des lokalen Reichtums an Bodentieren von den dem See von außen zugeführten *Dungstoffen*. Die Bodenproben mit der größten Tiermenge stammten von Stellen, die in der Nähe von Stallungen oder Weideplätzen liegen; die Schlittenwege über das Eis sind ebenfalls Ursache einer lokalen Anreicherung von *Dungstoffen* und damit von Bodentieren.

Lenz.

## Astronomische Mitteilungen.

**The Wave-Length in astronomical Interferometer Measurements.** (*J. A. Anderson*, *Astrophys. Journal* 55, 48—70, 1922.) Im Jahre 1920 wurde von *Michelson* ein Verfahren zur Ermittlung des Abstandes naher Doppelsterne und des Durchmessers von Fixsternen beschrieben. Es beruht, kurz gesagt, auf Folgendem: Man verschließt das Objektiv des Beobachtungsfernrohrs durch einen Schirm, in dem sich nur zwei rechteckige parallele Öffnungen von der Breite  $a$  und dem Abstand  $D$  befinden. Steht in der Verlängerung der Fernrohrachse ein punktförmiger Stern, so erzeugt jeder Spalt in der Brennebene ein Beugungsbild von der Breite  $2 \frac{\lambda F}{a}$  ( $F$  Brennweite,  $\lambda$  Wellenlänge des Sternlichts.) Die Beugungsbildchen beider Spalte überlagern sich genau und liegen symmetrisch zum Brennpunkt. Innerhalb dieses Beugungsbildchens liegen die Interferenzstreifen, die durch Zusammenwirkung beider Spalte entstehen. Der Abstand zweier dunkler

Streifen beträgt hier  $\frac{\lambda F}{D}$ . Wird ein Doppelstern beobachtet, dessen Komponenten den Winkelabstand  $\beta$  haben, so entstehen in der Brennebene zwei um den Betrag  $F\beta$  gegeneinander verschobene Interferenzsysteme. Ist die Verschiebung so groß, daß die hellen Streifen des einen Systems gerade auf die dunklen des andern Systems fallen, so ist das ganze Gesichtsfeld gleichmäßig beleuchtet. Das ist dann der Fall, wenn

$F\beta = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda F}{D}$  oder  $\beta = \frac{\lambda}{2D}$  ist. Aus  $\lambda$  und  $D$  ist  $\beta$  zu errechnen. Hat man statt des Doppelsterns ein Sternscheibchen vom Durchmesser  $\alpha$ , so tritt, wie eine einfache Integration lehrt, gleichförmige Beleuchtung des

Gesichtsfeldes ein, wenn  $\alpha = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D}$  ist. Bei der

praktischen Messung wird meist nicht  $D$  variiert, sondern man nimmt  $D$  zu groß und dreht die Spalte um die Fernrohrachse, bis das Gesichtsfeld gleichförmig ist. Ist der Drehwinkel  $\vartheta$ , so ist der wirksame Spaltabstand  $D \cos \vartheta$ . In einer Diskussion der Meßgenauigkeit zeigt Verf., daß die Größe  $D \cos \vartheta$  genauer als auf 1 % bestimmt werden kann. Wie steht es nun mit der Wellenlänge  $\lambda$ ? Einfach wäre es, wenn es sich um monochromatisches Licht handelte. Da das nie der Fall ist, muß man mit einer mittleren „effektiven Wellenlänge“ rechnen. Experimentell ist diese leicht festzulegen. Man beobachtet einen Doppelstern und stellt das Interferometer auf gleichförmiges Gesichtsfeld ein. Dann beobachtet man, ohne das Fernrohr zu verstellen, einen künstlichen Doppelstern von gleichem Winkelabstand. Diejenige Wellenlänge  $\lambda_0$ , mit der man den künstlichen

Doppelstern beleuchten muß, um wieder Gleichförmigkeit des Gesichtsfeldes zu erhalten, ist die effektive. Theoretisch ist  $\lambda_0$  so zu definieren: Ist  $I(\lambda) \cdot d\lambda$  die Intensität des innerhalb des kleinen Spektralbereichs  $d\lambda$  vom Stern ausgestrahlten Lichts, hat ferner das geometrische Bild jeder Komponente des Doppelsterns vom Brennpunkte den Abstand  $c$ , so ist die Intensität des Beugungsbildes in der Brennebene im Abstand  $x$  vom Brennpunkt, wie eine elementare Integration liefert (Spaltbreite  $a \ll D$ ):

$$J = \frac{1}{2} \int_0^\infty I(\lambda) \cdot d\lambda \left[ 2 + \cos \frac{2\pi D(x-c)}{F\lambda} + \cos \frac{2\pi D(x+c)}{F\lambda} \right]$$

$I$ , als Funktion von  $x$  gezeichnet, hat für  $x=0$  stets ein Maximum. Für einen bestimmten Wert von  $D$  findet bei  $x=0$  zwischen Kurve und Tangente eine Berührung dritter Ordnung statt. Dann ist das Gesichtsfeld in der Mitte gleichmäßig beleuchtet. Die analytische Bedingung ist:

$$\left( \frac{\partial^2 J}{\partial x^2} \right)_0 = 0 \text{ oder } \int_0^\infty \frac{I(\lambda)}{\lambda^2} \cos \frac{2\pi Dc}{F\lambda} d\lambda = 0$$

Hat  $I$  nur für einen bestimmten Wert  $\lambda_0$  beträchtliche Werte, so muß offenbar  $\frac{2\pi Dc}{F\lambda_0} = \frac{\pi}{2}$  oder  $\lambda_0 = 4 \cdot \frac{Dc}{F}$  sein. Im allgemeinen liefert die obige Gleichung einen bestimmten Wert für  $\left( \frac{Dc}{F} \right)_0$ . Man definiert dann als „effektive Wellenlänge“:

$$\lambda_0 = 4 \cdot \left( \frac{Dc}{F} \right)_0$$

Eine ganze Kette von Fragen schließt sich hier an; z. B.: Ein Doppelstern strahle spektral gleiches Licht aus wie ein Sternscheibchen; liefert dann das oben geschilderte experimentelle Verfahren für beide die gleiche effektive Wellenlänge? Oder: was erhält man, wenn die beiden Komponenten eines Doppelsterns verschiedenen Spektraltypen angehören? Oder: was ergibt sich, wenn das Sternscheibchen nach dem Rande zu dunkler und dabei andersfarbig wird? Der Fragen sind viele. Bei der eminenten Wichtigkeit des Michelsonschen Interferometerverfahrens schlägt nun *Anderson* einen Weg vor, um zunächst einmal für die einfachsten Fälle (Doppelstern mit spektral gleichen Komponenten) einen festen Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen zu schaffen. Ausgeschlossen seien Sterne mit ausgesprochen diskontinuierlichem Spektrum (wie planetarische Nebel). Für die anderen Sterne, die mehr oder weniger den Typus des schwarzen Körpers haben, setzt sich die Intensität des zu uns kommenden Lichtes aus drei Faktoren zusammen:  $I(\lambda) = E \cdot D \cdot S$ . Es ist  $E(\lambda)$  die Energieverteilung im Spektrum des Sterns,  $D(\lambda)$  ist der Durchlässigkeitskoeffizient der Atmosphäre, der möglicherweise von der Zenithdistanz des Sterns abhängt,  $S(\lambda)$  ist der Empfindlichkeits- oder Sehkoeffizient des Auges des Beobachters. *Anderson* schlägt nun folgenden Weg vor: Man nehme für  $E$  den aus dem Planckschen Strahlungsgesetz folgenden Wert, für  $D$  und  $S$  die bekannten normalen Durchschnittswerte, berechne aus der oben gegebenen Gleichung die effektive Wellenlänge  $\lambda_0$  als Funktion der Sterntemperatur  $T$  und stelle die Abhängigkeit graphisch dar. Beobachtet nun jemand einen Stern der Temperatur  $T_1$  (Temperatur aus Spektraltyp erschlossen), so könnte er die zugehörige effektive Wellenlänge  $\lambda_1$ , die er der Verwertung seiner Beobachtungen zugrunde zu legen hat, einfach aus der Ta-

belle bzw. der Kurve entnehmen, wenn sein Auge völlig die normale Empfindlichkeit hätte. Das wird genau nie der Fall sein; vielmehr wird stets eine Abweichung vorhanden sein, wenn auch (das ist wesentlich!) meist keine erhebliche. Um nun den Wert auf sein Auge zu korrigieren, entnimmt er der Kurve außerdem die Wellenlänge  $\lambda_2$  für einen Stern von der Temperatur der Sonne und stellt durch Beobachtung, wie sogleich zu beschreiben ist, für sein Auge die Wellenlänge  $\lambda_2'$  der Sonne fest. Dann hat er für die mit seinem Auge an dem ersten Stern gemachten Beobachtungen die Wellenlänge  $\lambda_1' = \lambda_1 + (\lambda_2' - \lambda_2)$  zugrunde zu legen.

Die effektive Wellenlänge des Sonnenlichtes wurde mit einem Apparat folgender Art gemessen: Mit Sonnenlicht, reflektiert an frisch versilberten Spiegeln, wird ein künstlicher Doppelstern (zwei Löcher in Stanniol von rund 0,04 mm Durchmesser in  $\delta = 0,06$  mm Abstand) beleuchtet. Die Beobachtung erfolgt durch ein Fernrohr, vor dessen Objektiv sich ein Schirm mit zwei kreisförmigen Öffnungen (Abstand  $D = 6$  bis 7 mm; Durchmesser 1 bis 2,5 mm) befindet. Der Abstand des Doppelsterns vom Objektiv war  $L = 9$  m. Die Summe aller Fehler aus den Bestimmungen von  $L$ ,  $\delta$ ,  $D$  ist kleiner als 1‰. Der Cosinus des Drehwinkels, bei dem die Interferenzen unsichtbar werden, ist, wie eine nähere Betrachtung zeigt, auf  $\frac{1}{2}$  ‰ genau bestimmbar. Nach allem ergibt sich  $\lambda_0$  auf 1 ‰ oder etwa 5 Å. An dem benutzten Apparat waren alle Linsen aus Quarz. Die Beobachtungen wurden auf dem Mt. Wilson und in Pasadena vorgenommen, und zwar für verschiedene Zenithdistanzen und bei verschiedener Beschaffenheit der Atmosphäre. Konstanz der effektiven Wellenlänge ergab sich auf Mt. Wilson für alle Zenithdistanzen bis zu  $60^\circ$  (5510 Å), in Pasadena für solche bis  $40^\circ$  (5520 Å). Für größere Zenithdistanzen steigt die Wellenlänge, auf Mt. Wilson z. B. bis 5660 Å bei Sonnenauf- und -untergang. Auch tritt dann die Abhängigkeit von der atmosphärischen Beschaffenheit hervor. Die Wellenlängen waren größer an wolkgigen Tagen, am kleinsten nach Regen.

Die am Anfang skizzierte Theorie des Michelsonschen Verfahrens setzt voraus, daß die Öffnung der Spalte vor dem Objektiv klein ist gegen ihren Abstand. Eine wichtige Frage ist die, wie sich die Ergebnisse ändern, wenn diese Voraussetzung nicht mehr zutrifft. Da zeigt nun der Versuch am künstlichen Doppelstern, daß bei Anwendung der Drehmethode die Spaltweite keinen Einfluß hat, daß vielmehr stets beim selben Drehwinkel die geringste Sichtbarkeit der Interferenzen auftritt. Da diese Art der Beobachtung in der Astronomie die Regel sein wird, so spielt also hier die Spaltweite gar keine Rolle. Immerhin ist es vom theoretischen Standpunkt aus interessant, zu fragen, wie die Verhältnisse werden, wenn man nicht dreht, sondern den Spaltabstand ändert und die Aufmerksamkeit auf die Mitte des Beugungsbildes richtet. Der Winkelabstand  $\beta$  eines Doppelsterns läßt sich jetzt in der Form  $\beta = \frac{\lambda_0}{2D} (1 + K)$  schreiben. Für das Korrektions-

glied  $K$  hat Hamy 0,765  $\left(\frac{a}{D}\right)^2$  angegeben. Anderson findet beträchtlich kleinere Werte. Das Wesentliche an seiner Überlegung ist Folgendes: Setzt man das Verhältnis von Spaltabstand und Spaltweite  $\frac{D}{a} = n$ ,

so liefert jede Sternkomponente ein Beugungsbild, in dem die Intensität mit dem Abstand von der Mitte

wie die Funktion  $\frac{\sin^2 \frac{x}{n}}{\left(\frac{x}{n}\right)^2} \cos^2 x$  variiert. Die Beugungs-

bilder beider Komponenten schieben sich übereinander. Ist  $n$  sehr groß, so haben die mittleren Maxima alle gleiche Höhe; sind daher beide Bilder gerade um  $\frac{\pi}{4}$  gegeneinander verschoben, so erhält man völliges Auslöschen des Minimums in der Mitte. Ist dagegen  $n$  klein, so ist das Maximum in der Mitte größer als das ihm benachbarte, man muß jetzt die Bilder beider Komponenten um etwas mehr als den Abstand  $\frac{\pi}{4}$  übereinander schieben, um das Minimum in der Mitte verschwinden zu lassen. Anderson führt die Rechnung wirklich durch. Er stellt sodann Experimente mit künstlichen Doppelsternen und Sternscheibchen an. Beleuchtet wird mit grünem Licht (5400 Å). Der Abstand der Spalte von dem Objekt beträgt 5 mm, ihre Breite schwankt zwischen  $\frac{1}{2}$  und 2,5 mm, der Wert  $n$  also zwischen 10 und 2. Verändert wird der Abstand zwischen Stern und Objektiv. Anderson findet völlige Übereinstimmung des Experiments mit seinen Formeln, während die Formel von Hamy für das Korrektionsglied den sechsfachen Wert liefert.

**An Investigation of the Constancy in Wave-Length of the Atmospheric and Solar Lines.** (Charles E. St. John und Harold D. Babcock, Astrophys. Journal 55, 36—47, 1922.) Die Fraunhoferschen Linien terrestrischen Ursprungs werden bei Ausmessung der Sonnenlinien häufig als Standard benutzt. Die Frage, ob ihre Wellenlänge unter allen Umständen konstant ist, ist daher von größter Wichtigkeit. Pérot beobachtete 1915 an einer Sauerstofflinie der B-Gruppe, daß die Wellenlänge mittags größer war als morgens und abends. Der Unterschied war so groß, daß er aus ihm auf Geschwindigkeiten in der Atmosphäre schloß, deren Radialkomponente 3 km/sec. betrug<sup>1)</sup>. Veri prüft die Veränderlichkeit der Wellenlänge mit der Tageszeit in drei Spektralbereichen, in der B-Gruppe (bei 6867 Å), der  $\alpha$ -Gruppe (6276 Å), der Wasserdampfbande bei 5900 Å. Die Wellenlängen wurden teils auf Sonnenlinien, korrigiert mit Bezug auf die Erdbewegung, teils auf Absorptionslinien des Joddampfes bezogen. Alle Messungen an 25 Platten sowie ferner die Auswertung von Spektrogrammen, die für andere Zwecke aufgenommen und seit 1911 auf Mt. Wilson angesammelt sind, ergeben im Gegensatz zu Pérot keinerlei Veränderlichkeit der Wellenlänge, die die Fehlergrenze übersteigt ( $< 0,001$  Å). Es zeigt dies die Abwesenheit großer Geschwindigkeiten in der Atmosphäre und rechtfertigt die Benutzung terrestrischer Linien als Standard.

Der zweite Teil beschäftigt sich mit den Linien solaren Ursprungs, bei denen Verf. (im Gegensatz zu Evershed) ebenfalls Konstanz der Wellenlängen feststellt. Sein Ergebnis beweist, daß radiale Konvektionsströme auf der Sonne zwar nicht fehlen, daß sie aber bemerkenswert konstant sind. In höheren Gegenden sind sie abwärts, in tieferen aufwärts gerichtet.

E. Lamla.

<sup>1)</sup> 0,001 Å entspricht etwa  $\frac{1}{2}$  km/sec.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W9.

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.  
Copyright 1922 by Julius Springer in Berlin.

Heft 34. (Seite 727—750)

25. August 1922.

LIBRARY  
RECEIVED

OCT 3 1922

U. S. Department of Agriculture  
Zweiter Jahrgang

## INHALT:

Über die Rolle von Kern und Plasma bei der Embryonalentwicklung. Von *Andreas Penners*, Würzburg. S. 727.

Über die neuen Methoden S. Bechers zur Echtfärbung der Zellkerne mit künstlichen Beizenfarbstoffen. Von *Benno Romeis*, München. S. 733.

Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie. Von *C. Pulfrich*, Jena. (Mit 6 Abbildungen.) (Fortsetzung.) S. 735.

### Besprechungen:

Chance, Edgar, *The Cuckoo's Secret*. Von *Fritz Braun*, Danzig. S. 743.

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. S. 745.

Bau und Bild von Südwestafrika. Wissenschaftliche Expedition durch Baltistan, Ladak und Ost-Turkestan während der Jahre 1913 und 1914. Begriff des Naturgebietes in seiner Anwendung auf die politische Geographie. Forschungsreise nach den Südmolukken.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten. S. 749-750.

Die letzten Jahresberichte des American Museum of Natural History. Wissenschaftliche Gesellschaft für Luftfahrt. Beiträge zur Kenntnis der Neue amtliche Kartenwerke.

# GOERZ

## TRIÄDER BINOCLE



für

Reise, Sport, Jagd.

Zu beziehen durch die optischen  
Geschäfte.

Man verlange reich illustrierten  
Katalog.

Optische Anstalt C. P. Goerz Aktien-Gesellschaft, Berlin-Friedenau 45

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 100.— für das dritte Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 9.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 9.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck: für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20120 Julius Springer,  
Konten: für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

## Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

**zu kaufen gesucht.** Angebote unter  
Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

## Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

**J. D. Möller, Wedel in Holstein.**  
Gegründet 1864. (294)

# Einladung zur Tagung russischer Physiker in Nischni-Nowgorod.

Der Verband russischer Physiker veranstaltet Anfang September dieses Jahres in Nischni-Nowgorod den 3. Physiker-Kongreß.

Die genauen Daten, Verkehrsmöglichkeiten, Angaben über Unterkunft und Verpflegung werden rechtzeitig bekanntgegeben werden.

Der Kongreß soll in folgende Sektionen zerfallen:

1. Physik
2. Technische Physik mit den Unterabteilungen
  - a) Elektrotechnik
  - b) Radio-Technik
  - c) Physikalische Methoden in der Medizin.

Die Anmeldung von Referaten oder Thesen kann durch Vermittlung der Wissenschaftlich-Technischen Abteilung des Obersten Volkswirtschaftsrats, Berlin W 15, Lietzenburger Str. 11, an das Organisations-Komitee in Nischni-Nowgorod gerichtet werden.

Russische und ausländische Physiker, die an dem Kongreß teilnehmen wünschen, oder Firmen, die die Absicht haben sollten, auf dem Kongreß ihre Apparate, Vorrichtungen, Druckschriften u. a. m. zu demonstrieren, werden gebeten, sich mit der vorerwähnten Abteilung in Verbindung zu setzen.



## Über die Rolle von Kern und Plasma bei der Embryonalentwicklung.

Von Andreas Penners, Würzburg.

### I. Die Hypothese von den beiden hinsichtlich der Kernplasmawirkung verschiedenen embryonalen Entwicklungsperioden.

In seinem Buche „Das Vererbungsproblem im Lichte der Entwicklungsmechanik betrachtet“ sagt *Godlevski* (1909, S. 230): „In bezug auf die ersten Entwicklungsphasen sind überhaupt alle Autoren darin einig, daß das Eiprotoplasma einzig und allein in der Determinierung der essentiellen Merkmale des Individuums und der Spezies... maßgebend ist.“ Mit dieser Ansicht dürfte er wohl ziemlich allgemein Anklang finden. Aber wenn *Godlevski* kurz danach (S. 246) sich etwas spezieller äußert mit den Worten: „Im Lichte der bisherigen entwicklungsmechanischen Experimente erscheint als bewiesene Tatsache: Nach den sich sichtbar äußernden morphologischen und physiologischen Phänomenen zu urteilen, hängt die Vererbungsrichtung in der ersten Entwicklungsphase, welche bis zum Ende des Gastrulationsprozesses dauert, ausschließlich von dem Eiprotoplasma ab (*Driesch, Godlevski*).“, so dürfte er sich hier in zweierlei Hinsicht nicht ganz richtig ausgedrückt haben. Erstens stimmt es nicht, wenigstens nicht allgemein, daß die erste Entwicklungsphase bis zum Ende des Gastrulationsprozesses dauert; und zweitens gewinnt man nach *Godlevskis* Darstellung den Eindruck, daß nur *Driesch* und er selber oder zum mindesten diese beiden Autoren hauptsächlich zur Begründung der obigen Anschauung wesentlich beigetragen haben. Demgegenüber ist aber zu betonen, daß, soviel ich sehe, *Boveri* wohl als erster, und zwar schon im Jahre 1892, sich ähnlich geäußert hat, und daß gerade dieser Forscher im Laufe der Jahre eine Menge von Tatsachenmaterial zur Stütze für die in obigem angeschnittene Hypothese von den beiden verschiedenen embryonalen Entwicklungsperioden beigebracht hat, so daß man geradezu von einer *Boverischen* Hypothese in dieser Beziehung sprechen kann.

Eigene experimentelle Untersuchungen über die Furchung von *Tubifex rivulorum* ließen mich bisher nicht veröffentlichte Erwägungen anstellen, die in den Gedankengang der obigen Anschauung hineinpassen. Diese Untersuchungen sind noch nicht zum Abschluß gebracht; ich will sie daher bei den folgenden Erörterungen auch gänzlich außer acht lassen, sondern nur zunächst all das besprechen, was *Boveri* selbst zur Stütze der in Rede stehenden Hypothese verwertet hat.

Daran anschließend sollen dann noch einige Untersuchungen neueren Datums besprochen werden, ohne daß damit diese Zeilen einen Anspruch auf Vollständigkeit erheben wollen. *Godlevski* hat ja schon im Jahre 1909 in den oben zitierten Ausführungen eine ausführliche und ausgezeichnete Zusammenstellung über all das gegeben, was sich aus den Resultaten der beschreibenden und experimentellen Zoologie für die charakterisierte Anschauung verwerten läßt. Dieser Zusammenstellung ist auch ein ausführliches Literaturverzeichnis beigegeben.

a) Bastardierung zwischen den Seeigeln *Sphaerechinus granularis* ♀ und *Parechinus microtuberculatus* ♂.

Im befruchteten Ei ist die in fast allen anderen Zellen vorhandene und für jeden Organismus im allgemeinen fest bestimmte Kernplasmarelation zugunsten des Plasmas und zum Nachteile des Kernes verschoben. Die Menge an Kernsubstanz ist ja verschwindend gering gegenüber den plasmatischen Elementen des Eies. Vielleicht ist dies dadurch zu erklären, daß der Kern im befruchteten Ei und während der ersten Entwicklungsvorgänge „gar keinen formativen Einfluß auf das Protoplasma auszuüben hat“ (*Boveri* 1892, S. 469). Nach dieser Vorstellung hat also am Anfang der Embryonalentwicklung das Protoplasma allein die gestaltenden Vorgänge zu bestimmen. Das zur ersten Entwicklung notwendige gesamte Material ist im Ei vorhanden und braucht nur in eine Anzahl bestimmt angeordneter Zellen zerlegt zu werden. Das geschieht durch den Furchungsprozeß, der nun in der Tat durch die Anordnung der Eisubstanzen allein vollkommen bestimmt zu sein scheint. Wie die im Ei vorhandenen Stoffe auf die Furchungszellen verteilt werden, darauf übt der Kern allem Anschein nach keinen Einfluß aus. Erst wenn die zu bestimmten Zwecken notwendige Differenzierung der Zellen beginnt, dann kommt die Wirkung der Kerne zur Geltung.

Hauptsächlich aus folgender Tatsache wurde diese Anschauung zunächst von *Boveri* (1892) erschlossen. (Vgl. hierzu auch *Driesch* 1898 und *Boveri* 1903.) Die Furchungsprozesse der Seeigel *Sphaerechinus granularis* und *Parechinus microtuberculatus* verlaufen hinsichtlich bestimmter Charaktere ganz verschieden. Vor allem sind es die Geschwindigkeit, mit der die Teilungen bis zum Blastulastadium aufeinander folgen, und das Habitusbild, das die Furchungszellen darbieten, die bei beiden Formen anders geartet sind. Nun ergibt die Kreuzung zwischen

einem Sphaerechinusei und einem Parechinus-sperma eine Larve von typischer Mittelform. Die Furchung dieser Bastarde geht aber genau so vor sich, wie die homosperm befruchteter Sphaerechinuseier. Das Spermium, oder was faktisch dasselbe ist, der Kern von Parechinus hat demnach auf den Ablauf dieser Bastardfurchung keinen sichtbaren Einfluß gehabt. Für sie muß lediglich eine vom männlichen Kern sehr verschiedene mütterliche Substanz, das ist das Eiplasma, maßgebend gewesen sein.

*Boveri* hat nun im Laufe der Jahre eine Reihe von Tatsachen aufgedeckt, die noch bestimmter für die Richtigkeit der obigen Überlegung sprechen, wonach also in der Entwicklung des jungen Seeigels zunächst das Plasma die ausschlaggebende Rolle spielt.

b) Die Entwicklung der aus Dispermie hervorgehenden Drittel- oder Viertelkeime von Seeiegeln.

Disperme Befruchtung von Seeigeleiern führt zu simultaner Vierteilung und Dreiteilung des Eies, je nachdem eine 4- oder 3polige Spindel entsteht (*Boveri* 1902, 07, 14). Zerlegt man solche 4- oder 3geteilte Eier in ihre einzelnen Blastomeren, also in 4 oder im anderen Falle in 3, so entwickeln sie sich alle selbständig weiter, aber, und das ist im Zusammenhang der vorliegenden Betrachtung bedeutungsvoll, alle 4 oder alle 3 völlig verschieden. Unter sehr vielen solcher Viertel- oder Dritteileier sind nur verschwindend wenige, aus denen ein zwar kleiner aber sonst normaler Pluteus hervorgeht; die meisten endigen als junge Blastulae oder als Stereoblastulae. Die letzteren entstehen aus einer gewöhnlichen Blastula dadurch, daß sich ihr Blastozöl allmählich mehr und mehr mit pathologischem Inhalt, zerfallenden Zellen, anfüllt. Als solche Gebilde können sie noch eine Zeitlang am Leben bleiben. Andere erreichen das Gastrulastadium. Etwa auf je zwei disperm befruchtete Eier kommt eine  $\frac{1}{4}$  Gastrula.

Dieses Verhalten läßt sich nun folgendermaßen erklären: Bei einer normalen Spindel mit zwei Polen werden die Chromosomen der geteilten Äquatorialplatte genau gleichmäßig auf die beiden Spindelpole und damit auf die entstehenden Tochterzellen verteilt. Hat aber die Spindel, wie in den vorliegenden Fällen, drei oder gar vier Pole, so wird eine gleichmäßige Verteilung aller Chromosomen auf die Tochterzellen wohl überhaupt nicht vorkommen, und nur in ganz seltenen Fällen wird eine von den vier oder drei Schwesterzellen die normale Kombination von Chromosomen erhalten. Diese Zellen sind es, die sich dann zu normalen, natürlich kleinen Plutei entwickeln. Und weil jede von den vier oder drei Blastomeren eine andere Chromosomenkombination erhält, darum entwickeln sie sich auch alle vier oder alle drei verschieden weit. Aber bis zur Blastula bringen sie es alle. Das ist in diesem Zusammenhang von Bedeutung. Jede, auch die

schlechteste Chromosomenkombination bietet der betreffenden Zelle, die einem Viertel- oder Dritteilei entspricht, die Möglichkeit, ihre Entwicklung bis zum Blastulastadium zu vollenden.

Somit gewinnt die Vorstellung, daß die ersten Entwicklungsvorgänge bis zur Fertigstellung der Blastula von den Chromosomenqualitäten, also vom Kern unbeeinflusst sind, durch die Verhältnisse der disperm befruchteten Seeigeleier an Gewißheit. Denn alle aus Dispermie hervorgehenden Drittel- oder Vierteileier liefern eine Blastula, ganz unabhängig davon, ob die richtigen Chromosomenqualitäten vorhanden sind oder nicht. Erst der weitere Ablauf der Entwicklung wird von ihnen beeinflusst. Alle Drittel- oder Viertelkeime mit qualitativ anormalem Chromatinbestand gehen eben nach Vollendung des Blastulastadiums zugrunde.

c) Bastardierungs- und Merogonieversuche von *Godlevski* mit Parechinuseiern und Antedonsperma.

*Godlevski* (1906) hat Bastardierungsversuche zwischen Seeiegeln und Haarsternen angestellt, also zwischen Formen, die zwei verschiedenen Klassen der Echinodermen angehören. Es entwickelten sich aus ganzen Eiern von Parechinus, die mit Antedonsamen befruchtet wurden, Plutei, die nur mütterliche Merkmale aufwiesen. Eine spezifische Beeinflussung des Eimaterials durch das artfremde Sperma fand also nicht statt. *Godlevski* glaubt aber den Nachweis erbracht zu haben, daß die Antedonchromosomen, sagen wir mal, rein äußerlich betrachtet, die Entwicklung genau so mitmachen wie die von Parechinus, und daß sie auch imstande sind, zur Herstellung der normalen Kernplasmarelation wesentlich beizutragen.

*Baltzer* (1910), der diese Experimente von *Godlevski* wiederholte, bestätigte im allgemeinen dessen Befunde. Er konnte aber entgegen *Godlevski* nachweisen, daß wenigstens in den ersten Furchungsspindeln dieser Bastarde einzelne Chromosomen durch ihre Form deutlich als Spermachromosomen zu erkennen waren. Sie behielten in dem fremden Plasma ihre eigene Form bei, veränderten sich also nicht unter dem Einfluß des umgebenden fremden Plasmas. Zusammenfassend erklärt sich *Baltzer* einverstanden mit dem Ergebnis *Godlevskis* (1906), „daß das Chromatin von Antedon an der Bildung der embryonalen Kerne teilnimmt, daß trotzdem aber die Antedoncharaktere auf den Bastarden dieser Generation nicht wahrnehmbar werden“.

Aus diesem Ergebnis folgert *Boveri* (1907): Gewisse „generelle“ Eigenschaften können die Antedonchromosomen auch in dem artfremden Plasma von Parechinus zur Geltung bringen, dagegen nicht ihre „speziellen“, durch die das manifest wird, was bei Antedon vererbt wird.

Ob dieser Schluß richtig ist oder nicht, das muß sich entscheiden lassen, wenn es möglich ist, einen Spermakern allein ohne Eikern in ein frem-



des Plasma zu bringen. Diese Möglichkeit besteht nach Beobachtungen von *O. und R. Hertwig* und Untersuchungen von *Boveri* (1889, 1895, 1904). Wenn man nämlich Seeigeleier kräftig schüttelt, werden sie mehr oder weniger zerstückelt. Dabei treten dann Teilstücke von Eiern auf, die keine Kerne besitzen. *Godlevski* (1906) hat nun solche kernlosen Eifragmente von *Parechinus* mit Antedonsamen befruchtet. Mit Ausnahme von vier starben diese Eifragmente alle auf jungen Stadien ab. Nur die erwähnten vier erreichten das Gastrulastadium. Vor der Skelettbildung gingen auch sie zugrunde.

Mit Recht leitet *Boveri* (1907) aus diesen Versuchen *Godlevskis* die Vorstellung ab: In der Embryonalentwicklung sind „zwei in bezug auf die Mitwirkung des Kernes essentiell verschiedene Perioden zu unterscheiden“. In der ersten ist das wirksame Agens in der Hauptsache das Ei-plasma, während der Kern nur generelle Eigenschaften entfaltet. Daß auch in der Tat solche generellen Wirkungen zur Geltung kommen, geht schon daraus hervor, daß eine Zelldurchschnürung ohne Vorhandensein irgendwelcher Kernsubstanz unmöglich ist, wie *Boveri* (1897) an Seeigeleiern nachweisen konnte. In der zweiten Periode wird der Kern mit seinen speziellen Eigenschaften wirksam. Ist er normal gebaut, so ist eine gesunde Entwicklung möglich, aber auch nur in diesem Fall. In den obigen *Godlevskischen* Fällen konnte der Antedonkern im artfremden Plasma von *Parechinus* seine generellen Eigenschaften noch entfalten; seine spezifischen aber, durch die er dem Ei arteigene Merkmale hätte aufprägen müssen, standen dem Plasmamaterial machtlos gegenüber. Die Keime gingen spätestens im Gastrulastadium zugrunde.

Bei dieser Deutung der von *Godlevski* erzielten Resultate ist die Übereinstimmung mit *Boveris* Ergebnissen aus seinen Dispermieversuchen eine weitgehende. *Boveri* sagt (1907, S. 249): „In beiden Fällen haben wir es nach meiner Auffassung mit einem unrichtigen Chromatinbestand zu tun: in dem einen insofern, als die Chromosomen, mit denen das Ei-plasma zurechtkommen soll, von einer anderen Tierklasse stammen, beim andern, als der Kern nicht alle zur physiologischen Einheit gehörigen Chromosomenarten enthält. In beiden Fällen reicht dieser unrichtige Chromatinbestand für die erste Entwicklung aus und beginnt dann zu versagen.“

#### d) Über die Grenze zwischen den beiden Entwicklungsperioden.

Aus den besprochenen Bastardierungsexperimenten und den Dispermieversuchen geht wohl mit Sicherheit hervor, daß die ersten Entwicklungsvorgänge wenigstens beim Seeigel hauptsächlich durch „die Organisation des Ei-plasmas“ bedingt werden, und daß der Kern seine spezifischen Wirkungen erst später zur Geltung bringt. Es bleibt nun noch die Frage zu beantworten: Wo

liegt die Grenze zwischen den beiden Perioden? Es wurde erörtert, daß Viertel- oder Drittelkeime, die aus dispermi befruchteten Seeigeleiern isoliert wurden, ihre Entwicklung fast alle auf dem fertigen Blastulastadium einstellten und daß hier meistens ihre Erkrankung einsetzte, und zwar unter dem Einfluß der falschen Chromosomenkombination in den zugehörigen Kernen. Hauptsächlich auf Grund dieser Tatsache hat *Boveri* (1902) die Grenze zwischen den beiden Entwicklungsperioden zunächst auf das Stadium der fertigen Blastula verlegt. Bis hierher sind die Kerne im Speziellen noch unwirksam. Ihre Tätigkeit setzt jetzt ein und damit erkrankt der Keim. Nach den Experimenten von *Godlevski* ist die Grenze in einem späteren Stadium zu suchen, nämlich nach der beendeten Gastrulation; denn er erhielt ja vier Gastrulae aus kernlosen Eifragmenten von *Parechinus*, die mit Antedonsamen befruchtet wurden.

Diese beiden Gegensätze kann man nun etwa so beleuchten (*Boveri* 1907): Die Kerne der aus Dispermie hervorgegangenen Keime sind in ihrem innersten Wesen fast alle unrichtig gebaut. Sie enthalten ja fast durchweg eine ungenügende Chromosomenkombination. Sobald solche Kerne ihre spezifischen Funktionen ausüben sollen, erkranken sie in sich selbst und ziehen in ihrer Erkrankung das Plasma sofort nach sich. Die Entwicklung solcher Keime steht darum sofort still mit der Erreichung des Blastulastadiums. Der Antedonkern im *Parechinus*plasma ist aber an und für sich in seinem inneren Aufbau völlig gesund. Er steht nur einem zu fremden Plasma gegenüber. Es wäre nun denkbar, daß der Kern in diesem Falle noch die Gastrulation, als von seiner spezifischen Wirkung abhängig, auslösen könnte, daß aber auch er sich damit erschöpfe und erkrankte. Es ergeben sich also zwei Möglichkeiten. Entweder: die Gastrulation verläuft ohne spezifische Kernwirkung; sie kann also auch mit einem stark fremdartigen Chromosomenbestand richtig ablaufen (*Godlevski*). Oder: zur Gastrulation ist eine bestimmte spezifische Kernqualität notwendig (*Boveri*). Im ersten Falle ist für die dispermen Keime zu fordern, daß die Kerne wegen ihres falschen Aufbaues in sich früh erkranken. Im zweiten ist die spezifische Wirkung des Antedonkernes, die zur Gastrulation führt, auch für *Parechinus*plasma ausreichend.

#### e) *Boveris* Merogonieversuche an Seeigeleiern.

Endgültig hat *Boveri* (1918) die auch nach den letzten Ausführungen immer noch offene Frage nach der Grenze zwischen den beiden Entwicklungsperioden in Untersuchungen entschieden, deren Resultate erst nach seinem Tode veröffentlicht worden sind. Und zwar sind es die Merogonieversuche gewesen, die den Entscheid gebracht haben. Lange Jahre hat sich *Boveri* hinsichtlich der Bewertung dieser Versuche in einem Irrtum befunden. Erst verhältnismäßig spät hat

er diesen erkannt und dann ausgedehnte neue Versuche angestellt. Ihre Resultate seien im folgenden kurz besprochen.

Ob ein Eifragment, das man durch Schütteln erhält, kernlos ist oder nicht, das läßt sich an lebendem Material nicht mit voller Sicherheit feststellen. Durch Schütteln der Seeigel ist es nämlich möglich, den Kern unsichtbar zu machen, indem dadurch die Kernmembran zerstört wird und vom ganzen Kern nur noch ein kleines Häufchen fester Substanz übrig bleibt. Dieses ist aber im lebenden Ei nicht aufzufinden. Und so kommt es, daß man durch Schütteln erhaltene Eifragmente als kernlos ansieht, die in Wirklichkeit aber doch Kernsubstanz in sich schließen, wie sich an konserviertem und gefärbtem Material einwandfrei feststellen läßt. Wenn auch dieses Unsichtbarwerden des Kernes beim Schütteln nun nicht immer auftritt, so ist das Bestehen der Möglichkeit doch Grund genug dafür, daß man zur Entscheidung, ob ein Eifragment, welches man zu irgendeinem Entwicklungsversuch benutzt, kernlos ist oder nicht, sich nach einer anderen Methode als der Lebenduntersuchung umsehen muß. Diese Methode ergibt sich aus folgendem: In einer normalen, diploiden Seeigellarve besteht ein bestimmtes Verhältnis zwischen Kerngröße und Zellengröße. Da nun aber gleichweit entwickelte Larven in ihrer Größe und Zellenzahl im allgemeinen übereinstimmen, besitzen die entsprechenden Kerne auch gleiche oder wenigstens annähernd gleiche Größe. Ebenso ist es bei haploiden Larven. Sie besitzen aber doppelt so viele Zellen als entsprechende diploide. Die Kerne sind daher nur halb so groß. Erhält man nun aus einem Eifragment, das man, nach dem Leben beurteilt, als kernlos ansieht, nach Befruchtung mit einem Spermakern eine Larve, deren Kerne in entsprechenden Körpergegenden etwa halb so groß sind als die eines normalen Pluteus, so hat man darin ein sicheres Kriterium, daß das Fragment auch wirklich kernlos war. Ob also ein bei Merogonieversuchen entstandener Pluteus wirklich nur das väterliche Chromatin enthält, das kann man eindeutig nur an konserviertem und gefärbtem Material durch Kernmessung feststellen.

Mit Hilfe dieses Kriteriums hat nun *Boveri* bei seinen Merogonieversuchen an Seeigeln unter anderem folgende Tatsachen festgestellt, die ich zunächst kurz zusammenfassen möchte. In dieser Zusammenstellung seien auch gleich die entsprechend den Versuchen *Boveris* umzudeutenden, oben besprochenen *Godlevskischen* Befunde aufgenommen:

1. Kernlose Eifragmente v. *Parechinus* mit *Parechinus*-sperma ergeben Plutei.
2. Kernlose Eifragmente v. *Parechinus* mit *Paracentrotus*-sperma ergeben Plutei.
3. Kernlose Eifragmente v. *Sphaerechinus* mit *Parechinus*-sperma ergeben Blastulae.
4. Kernlose Eifragmente v. *Sphaerechinus* mit *Paracentrotus*-sperma ergeben Blastulae.

5. Kernlose Eifragmente v. *Parechinus* mit *Antedon*-sperma ergeben keine Gastrulae.

Das Obige sei nun noch etwas eingehender betrachtet: Besamt man kernlose Eifragmente von *Parechinus* homosperm oder stellt man mit kernlosen Eifragmenten innerhalb der Familie der Echiniden (*Parechinus* + *Paracentrotus*) Bastardierungsversuche an, so zeigt sich, daß solche Eifragmente sich ebenso gut entwickeln können wie kernhaltige. Sie können Plutei liefern, die natürlich nur halb so große Kerne besitzen wie die entsprechenden normalen Larven. Anders ist es, wenn man Bastardierung zwischen der Familie der Echiniden und *Toxopneustiden* (*Sphaerechinus*) vornimmt. Zwar entwickeln sich kernlose Eifragmente von *Sphaerechinus*, die man mit Sperma von *Paracentrotus* oder *Parechinus* besamt, anfangs ebensogut wie die kernhaltigen. Nach Vollendung des Blastulastadiums stellen sie aber ihre Entwicklung bald ein. Diejenigen dieser merogonischen Larven, die sich am weitesten entwickeln, bleiben während der Gastrulation in ihrer Entwicklung stehen. So können sie einige Tage weiterleben und lebhaft beweglich sein. An Skelettbildung liefern sie höchstens zwei kleine Dreistraher. Dann sterben sie ab.

Und nun zur Beurteilung der *Godlevskischen* Versuche. Oben wurde ausgeführt, daß *Godlevski* bei seinen Merogonieversuchen zwischen *Parechinuseiern* und *Antedonspermien* vier Larven erhielt, welche die Gastrulation beendeten. Die verwendeten Eifragmente wurden aber nur lebend auf ihre Kernlosigkeit untersucht. Da dies aber nach den neueren Untersuchungen von *Boveri* zu Täuschungen führen kann, hält sich *Boveri* für berechtigt zu behaupten, daß es sich bei diesen vier Gastrulae nicht um kernlose, sondern um kernhaltige Eifragmente gehandelt hat, deren Kerne durch das Schütteln nur unsichtbar gemacht worden seien. Man muß zugeben, daß diese Annahme *Boveris* sehr viel für sich hat, wenn man bedenkt, daß schon innerhalb der Gruppe der Seeigel ein zu fremdes Spermachromatin dem Ei-plasma machtlos gegenübersteht, wenn es heißt, einem Keim über das Blastulastadium hinauszuhelfen.

*Boveri* folgert nun: *Parechinus* und *Paracentrotus* haben einen ähnlich gebauten Kern, was nach der Zugehörigkeit zu ein und derselben Familie nicht befremden kann. Ebenso erklärlich ist die Tatsache, daß der *Sphaerechinus*-kern von den beiden andern abweicht. Erst recht verschieden ist der *Antedon*-kern von denen der Seeigel. Mithin erklären sich die angeführten Resultate der Merogonieversuche so: der *Antedon*-kern ruft im *Parechinus*-plasma vielleicht eine Entwicklung bis zum Ende der Blastula hervor, ebenso *Parechinus*- und *Paracentrotus*-kerne im *Sphaerechinus*-plasma. Dagegen können *Parechinus*- und *Paracentrotus*-kerne sich im zugehörigen Plasma vertreten. Um die Entwicklung eines Seeigelplasmas über das Blastulastadium hinaus zu ermöglichen, muß also ein Chromatinbestand hinzukommen,



der darauf abgestimmt ist, der bestimmte Beschaffenheit besitzt. So kommt man auch auf Grund dieser Merogonieversuche wieder zu der Anschauung, daß in der Embryonalentwicklung zwei Perioden zu unterscheiden sind. Am Anfang reicht das Plasma allein aus, um das Entwicklungsgeschehen zu bestimmen, und erst später treten die Kerne in Wirksamkeit. Die Grenze zwischen diesen beiden Perioden liegt nach den jetzigen Erfahrungen für Seeigel am Ende des Blastulastadiums.

f) *Baltzers* Untersuchungen über die Chromosomen der Seeigel.

Eine wertvolle Beleuchtung erfährt die soeben dargelegte Anschauung in den Untersuchungen *Baltzers* (1909, 10, 13, 17). Er konnte unter anderem nachweisen, daß die Chromosomenzahl von *Parachinus* und *Paracentrotus* in haploiden Kernen übereinstimmend 18 beträgt. Ferner besitzen beide Gattungen Chromosomen von Hakenform und in der Hälfte ihrer Spermien ein charakteristisches Idiochromosom. Bei *Sphaerechinus* dagegen befinden sich in den haploiden Kernen 20 Chromosomen, die alle die Form gerader Stäbchen besitzen. Ein Idiochromosom ist nicht nachweisbar. Also auch diese Untersuchungen lassen es verständlich erscheinen, daß *Parachinus*- und *Paracentrotus*-kerne sich unbeschadet der Entwicklung gegenseitig vertreten können. Und daß der *Sphaerechinus*-kern durch die beiden anderen nicht ersetzt werden kann, ist demnach ebenso verständlich.

Ferner konnte *Baltzer* (1910) im physiologischen Verhalten von Seeigelchromosomen durch Bastardierungsexperimente Verhältnisse aufdecken, die durch die Hypothese von den beiden verschiedenen Entwicklungsperioden sehr gut erklärt werden können. *Paracentrotus* und *Arbacia* gehören zu zwei verschiedenen Seeigelfamilien. *Baltzer* bastardierte nun *Paracentrotus*-eier mit *Arbaciasperma*. Bis zum fertigen Blastulastadium entwickeln sich solche Bastarde alle normal. Dann setzt aber eine Erkrankung ein. Vielfach hört damit die Entwicklung überhaupt auf. Die Keime können als *Stereoblastulae* noch eine Zeitlang leben; sie sterben als solche ab oder mit einem geringen Ansatz zur Gastrulation. Einige Keime überstehen aber diese Erkrankung und entwickeln sich zu Plutei mit einem mütterlichen Skelett. Die zytologische Untersuchung ergab, daß die Chromosomen väterlicher wie mütterlicher Herkunft sich an der Entwicklung bis zur Fertigstellung der Blastula immer gleichmäßig beteiligen. Bei den Keimen nun, die die Erkrankung überstehen und sich weiter entwickeln, setzt im späten Blastulastadium oder am Anfang der Gastrulation eine Elimination von Chromosomen ein, die dazu führt, daß wahrscheinlich „in den Kernen der Bastardplutei keine *Arbacia*-chromosomen mehr enthalten sind“.

In Anlehnung an die in Rede stehende Hypo-

these kann man nun mit *Baltzer* (1910, 17) die Resultate folgendermaßen erklären. In der ersten Entwicklungsperiode, in der nur generelle Kernqualitäten wirksam sind, besteht kein Gegensatz zwischen *Paracentrotus*- und *Arbacia*-chromosomen. Die Entwicklung kann daher bis zum Blastulastadium ungestört fortschreiten. Von jetzt ab beeinflussen die verschiedenen Chromosomenreihen das Ei-plasma, aber art- und gattungsgemäß in verschiedener Weise. Es muß daher zu einem Konflikt kommen, der sich eben in der Erkrankung der Keime auf diesem Stadium äußert. Gelingt es den Keimen in diesem Konflikt, die *Arbacia*-chromosomen aus ihren Kernen zu eliminieren, so kann die Entwicklung weiter gehen; gelingt dies nicht, so sterben sie spätestens am Anfang der Gastrulation ab.

g) *Boveris* Standpunkt zum Vererbungsproblem.

Hier sei kurz einiges eingeschaltet, was sich aus den obigen Darlegungen hinsichtlich *Boveris* (1918) endgültigen Standpunktes zum Vererbungsproblem ergibt. Übereinstimmend zeigt sich bei den Untersuchungen über die Entwicklung dispermer Keime und bei den merogonischen Bastardierungsexperimenten, daß in gewissen Fällen die Entwicklung über ein bestimmtes Stadium hinaus nicht möglich ist. Bei beiden Erscheinungen sieht *Boveri* den Grund dafür darin, „daß von dem Zeitpunkt an, wo zur Weiterentwicklung die speziellen Chromosomeneigenschaften nötig werden, sowohl bei der heterospermen Merogonie wie bei der homospermen Dispermie die Kerne versagen. Im ersten Fall versagen sie, weil die Chromosomen nicht auf das Plasma, in dem sie sich befinden, abgestimmt sind, im zweiten Fall, weil die Chromosomen, obgleich zu diesem Plasma passend, nicht zu der richtigen Kombination vereinigt sind.“

Nun geht aus sehr vielen deskriptiven und experimentellen Untersuchungen zahlreicher Forscher hervor, daß die „Anordnung des Ei-plasmas“ ohne weiteres gewisse Merkmale der früheren Embryonalentwicklung bestimmt. Die Erbfaktoren haben hier also noch keine Bedeutung, höchstens insofern, als sie in früheren Entwicklungsstadien des Eies, vor oder während der Reifung oder gar noch früher, den zu bestimmten Formverhältnissen führenden Plasmabau bestimmt haben können. Wenn nun also am Anfang der Entwicklung, während der Furchung und noch weiter, die Kerne keine speziellen Eigenschaften zur Geltung bringen, so stimmt dies sehr gut zu dieser festgestellten „Vorbildung gewisser Primitivorgane im Ei-plasma“. Der Keim braucht eben bis zum Gastrulastadium nur generelle Kernqualitäten. Alles andere leistet ihm das Plasma. Erst um die Gastrulation zu beenden, benötigt er einen Chromatinbestand, der zu seinem Plasma paßt. „Aber — und damit gelangen wir zu einem bisher nicht genügend gewürdigten Punkt — von jenem Sta-

dium an beansprucht auch das Chromatin ein zu seinen besonderen Eigenschaften richtig abgestimmtes Protoplasma“. Denn das Parechinusplasma ist zwar für einen Paracentrotuskern ausreichend, dagegen kann er in einem Sphaerechinusplasma keinen formativen Einfluß zur Geltung bringen. Danach schreibt *Boveri* auch dem Protoplasma eine Bedeutung für die Vererbungsfrage zu, zunächst einmal insofern, als nach ihm die erste Entwicklungsperiode, die für alle Angehörigen einer und derselben Gattung im allgemeinen, in ihren großen Zügen ganz gleichmäßig verläuft, im wesentlichen das Plasma allein maßgebend ist, und dann dadurch, daß die Kerne in der zweiten Entwicklungsperiode ein ihnen adäquates Baumaterial vorfinden müssen.

## II. Die Hypothese Boveris vom Teilungsschnitt als eines determinierenden Faktors.

*Boveri* hat nun noch eine andere Hypothese aufgestellt, die meiner Meinung nach eine schöne Ergänzung zu den obigen Ausführungen bildet. Man muß sich doch unwillkürlich die Frage vorlegen: Wie kommt es denn, daß der Kern, der dem Plasma zunächst, das heißt am Anfang der Entwicklung, fast machtlos gegenübersteht, in einem späteren Stadium so viel Gewalt bekommt, daß er von da ab die weiteren Entwicklungsprozesse bestimmt? Die Antwort auf diese Frage dürfte wohl in der Annahme *Boveris* (1910) enthalten sein, „daß mit der Teilung des Eies ein bestimmtes Maß von Veränderung verknüpft ist, so daß sich die Tochterzellen von der Mutterzelle in bestimmter Weise unterscheiden“, also in dem „Begriff des Teilungsschrittes als eines determinierenden Faktors“.

Es seien zunächst einige Tatsachen besprochen, die *Boveri* selbst zur Stütze der obigen Annahme anführt. Normalerweise verlaufen die ersten Entwicklungsvorgänge bei *Ascaris megalocephala* folgendermaßen: Aus dem Ei entstehen durch Teilung meist zwei ungleiche Zellen, eine größere *AB*, die Ursomazelle I, und eine kleinere *P<sub>1</sub>*, die Stammzelle I. *P<sub>1</sub>* enthält meistens mehr Dotter und weniger Bildungsplasma als *AB*. Bei der folgenden Teilung verhalten sich diese beiden Schwesterzellen hinsichtlich ihrer Chromosomen gänzlich verschieden. Während in *P<sub>1</sub>* die Chromosomen einfach der Länge nach gespalten und ihre Teilprodukte auf die beiden Tochterzellen verteilt werden, vollzieht sich in *AB* an ihnen ein Vorgang, den man Diminution nennt. Darunter versteht man folgendes: Sobald in der Äquatorialplatte die Chromosomen sich ausgebildet haben, werden die beiden verdickten Enden der schleifenförmigen Gebilde abgeworfen. Der Rest, also das Mittelstück, zerfällt in eine große Anzahl kleiner Teilstücke. Diese spalten sich jetzt der Länge nach und die Spalthälften rücken in je eine Tochterplatte. Die abgeworfenen Chromatinbrocken stellen totes Material dar. Sie teilen sich nicht, sondern gelangen, von zufälligen Ursachen geleitet, in irgendeine Tochterzelle. Es sind also

die beiden Blastomeren, *AB* und *P<sub>1</sub>*, abgesehen von ihrer mehr äußerlichen Verschiedenheit in Größe und Plasmagehalt, auch in ihrem innersten Wesen verschieden, insofern als in der einen das Chromatin diminuiert wird, in der anderen nicht. Entsprechend diesen Verschiedenheiten besitzen beide Zellen auch andere Potenzen. Aus *AB* gehen nur somatische Zellen hervor, und zwar Ektoderm, während in *P<sub>1</sub>* Ektoderm, Entoderm, Mesoderm und vor allem die Geschlechtselemente enthalten sind.

Bei ganz bestimmt abgeänderter Furchung der *Ascariseier* verschieben sich diese Potenzen zum Teil ganz erheblich. Solche Abänderungen der Furchung können auf zwei verschiedene Weisen hervorgerufen werden, einmal durch Doppelbefruchtung und zweitens durch Zentrifugieren in bestimmter Richtung, nämlich so, daß die „Kraft exakt in der Richtung der Eiachse wirkt“. In diesem zweiten Falle erhält man nämlich die sogenannten „Balleier“. Durch eingehendes Studium solcher abnormen Furchungsverhältnisse hat nun *Boveri* folgendes festgestellt: Sowohl bei dispermer Befruchtung wie bei Zentrifugieren in bestimmter Richtung gehen aus dem *Ascarisei* immer nur Blastomeren mit der Wertigkeit *AB* oder *P<sub>1</sub>* hervor. Das Mengenverhältnis, in dem die *AB* und *P<sub>1</sub>* auftreten, ist aber sehr verschieden. Bei der simultanen Vierteilung dispermer Eier können entstehen:

- „drei Zellen *P<sub>1</sub>*, eine Zelle *AB*,
- oder zwei Zellen *P<sub>1</sub>*, zwei Zellen *AB*,
- oder eine Zelle *P<sub>1</sub>*, drei Zellen *AB*“.

Bei Balleiern besitzen die  $\frac{1}{2}$  Blastomeren beide die Wertigkeit *P<sub>1</sub>*. *AB* ist gänzlich verlorengegangen.

Daß nun eine Zelle im einen Fall den Wert *AB* bekommt, im anderen Falle den von *P<sub>1</sub>*, das wird nicht durch eine vorausgegangene differentielle Chromosomenteilung bedingt, sondern, wie *Boveri* sehr wahrscheinlich machen konnte, lediglich durch die Verschiedenheit im Plasmagehalt, den eine Zelle bei ihrem Entstehen mitbekommt. Das *Ascarisei* ist kurz vor der Furchung polar differenziert. Das Plasma des animalen Poles verleiht die Wertigkeit *AB*, diminuiert die Kerne, das vegetative diminuiert nicht, verleiht die Wertigkeit *P<sub>1</sub>*.

Aus diesen Betrachtungen über die normale und abgeänderte Entwicklung der *Ascariseier* folgt nun, daß der Teilungsschritt ein wichtiger determinierender Faktor sein muß. Das *Ascarisei* besitzt alle Potenzen, die für die Entwicklung nötig sind. Bei der normalen Furchung werden durch den ersten Teilungsschritt die Wertigkeiten *AB* und *P<sub>1</sub>* voneinander getrennt, also Zellen geschaffen, die unter sich und vom Ei verschiedene Potenzen besitzen. Die Zelle *P<sub>1</sub>* liefert im Hinblick auf den werdenden Embryo etwas ganz anderes als *AB*. Und diese spezialisierend wirkende Kraft, die der ersten Furchungsteilung bei *Ascaris* innewohnt, ist so stark, daß auch bei bestimmt abgeänderten Furchungsweisen immer nur Zellen mit der Wertigkeit *AB* oder *P<sub>1</sub>* entstehen.



Mit Hilfe dieser zellverändernden Wirkung des Teilungsschrittes, welche *Boveri* für *Ascaris megalocephala* nachweisen konnte, und die nicht erst in dem Augenblick der Zelldurchschnürung als aktiv zu denken ist, sondern wohl alle inneren Zellvorgänge begleitet, die endlich zur Bildung von zwei Schwesterzellen führen, kann man sich nun sehr gut vorstellen, wie der Kern das im Seeigelei zunächst noch fehlende Übergewicht über das Plasma allmählich nach einer Reihe von Teilungen gewinnt, so daß er schließlich die plasmatischen Elemente vollkommen in seinem Sinne umzubauen vermag: Einfachste plasmatische Unterschiede zwischen dem Ei und den unter sich völlig gleichscheinenden beiden ersten Blastomeren wirken verändernd auf die Kerne. Diese üben ihrerseits wiederum eine verändernde Rückwirkung auf das Plasma aus. Von dieser Rückwirkung des Kernes auf das Plasma ist in der Seeigelentwicklung zunächst nichts zu merken. Allmählich summiert sich diese durch eine Reihe von Teilungen aber so beträchtlich, daß sie auch äußerlich sichtbar zur Geltung kommt. Dieser Moment fällt bei Seeigeleiern mit dem Anfang der Gastrulation zusammen.

(Schluß folgt.)

## Über die neuen Methoden S. Bechers zur Echtfärbung der Zellkerne mit künstlichen Beizenfarbstoffen.

Von jeher ist es ein Ziel der Mikrotechnik, die Färbungen der Präparate nicht nur für die kurze Dauer einer unmittelbar nachfolgenden Untersuchung, sondern auch für längere Zeit haltbar zu machen. Aber jeder, der sich mit den oft ungemein kontrastreichen, scharfen Färbungen der Teerfarbstoffe befaßt, weiß, wie selten sich gerade bei ihnen dieser Wunsch verwirklichen läßt. Das mag ein Grund dafür sein, warum die Teerfarbstoffe besonders in den zytologischen Untersuchungen der neueren Zeit vielfach von den älteren, aber dauerhafteren Färbemethoden mit Hämatoxylinverbindungen wieder verdrängt werden.

Hierin scheinen die von *S. Becher*<sup>1)</sup> ausgeführten und vor kurzem veröffentlichten Untersuchungen bedeutsame Wandlung zu bringen, denn *Becher* gelang es in systematisch ausgebauten Versuchen, verschiedene reduktionsechte Färbemethoden mit synthetischen Teerfarbstoffen zu finden, die an Schärfe und Haltbarkeit wie an Einfachheit der Anwendung sogar den wegen ihrer Dauerhaftigkeit bekannten Karmin- und Hämatoxylinfärbungen in vielen Fällen gleichkommen. Eine besondere Bedeutung gewannen von den untersuchten künstlichen Beizenfarbstoffen (Oxyketone, Oxazine, Thiazine, Xanthone, Triphenylmethane, Azofarbstoffe und Nitrosophenole) Derivate des Anthrachinons und Naphthochinons, die sowohl gegen Oxydation wie Reduktion außerordentlich widerstandsfähig sind. Gerade die mit den letztgenannten Verbindungen hergestellten löslichen Lacke gestatten sehr gute Kernfärbungen, die nach *Bechers* Auffassung vielleicht sogar zu weitgehender Verdrängung der Hämatoxyline führen. Sehr wertvoll sind auch die Lacke einiger beizenziehender Oxazine.

1) *Siegfried Becher*, Untersuchungen über die Echtfärbung der Zellkerne mit künstlichen Beizenfarbstoffen. Berlin 1921, Borntraeger. XX, 1—318. Preis M. 75.—.

Aus der Fülle der im ersten Teile des *Becherschen* Werkes niedergelegten Methoden möchte ich auf Grund eigener Nachprüfung in nachfolgenden Zeilen einige der wichtigsten und praktisch wertvollsten kurz wiedergeben. Handelt es sich darum, ganz reine und scharfe Kernfärbungen zu erzielen, so stehen die Färbemethoden mit gelösten Aluminiumlacken der Oxanthrachinone an erster Stelle. Für scharlachrote Kernfärbung dient das *Purpurin* und das *Naphthopurpurin*, für Bordeauxrot das *Alizarinbordeaux*, für blaue Töne das *Alizarincyanin* und *Alizarincyanin G*, für braune das *Rufigallol*, für schwarzblaue das *Naphthazarin*.

Die Herstellung der Farblösungen ist überaus einfach. Man rührt 0,1 bis 0,2 g des Farbstoffes in möglichst feiner Verteilung in 100 ccm einer 5—10prozentigen Lösung von Aluminiumchlorid ein und bringt sodann durch Erhitzen und Kochen möglichst viel zur Lösung. Die abgekühlte Lösung läßt man einige Stunden stehen, filtriert und verdünnt mit 5 (—10)prozentiger Aluminiumsulfatlösung aufs doppelte Volumen oder filtriert nach acht Tagen abermals. Um ein Verpilzen der überaus haltbaren Lösung zu verhüten, bei der im Gegensatz zu Hämatoxylinlösungen keine Überoxydation zu befürchten ist, setzt man etwas Formol oder Thymol zu.

Zur Färbung kommen die Schnitte nach Paraffinentfernung usw. aus destilliertem Wasser in die Farblösung. Die Färbedauer schwankt je nach Objekt und Fixierung zwischen wenigen Minuten bis 24 Stunden. Man kontrolliert den Schnitt nach einigen Minuten und kann dann bei einiger Übung die ungefähre Färbedauer ganz gut abschätzen. Da Überfärbung nur bei sehr langer Einwirkung eintritt, schadet es auch nichts, wenn das Präparat einige Stunden länger in der Farbe bleibt. Die Farbstoffe gleichen in dieser Hinsicht dem Alaunkarmin. Die bei langdauernder Färbung eintretende Tönung des Plasmas und der Muskulatur (der Knorpel bleibt meist ungefärbt) kann insbesondere bei Metachromasie des Kontrastes halber sogar erwünscht sein. Nach der Färbung wird kurze Zeit in dest. Wasser ausgewaschen und durch die Alkoholreihe in Xylol und Balsam gebracht. Ein Ausziehen der Farbe findet dabei weder im Wasser noch im Alkohol statt.

Bei zu starker Plasmamitfärbung läßt sich eine Abschwächung der Färbung am besten durch Ausziehen in einer konzentrierten Lösung von Aluminiumchlorid in 95prozentigem Alkohol erzielen.

Mit anderen Metallsalzen des Naphthazarins usw. ist die ausgezeichnete Wirkung des Aluminiumlackes nicht in gleicher Güte zu erreichen.

Beinahe noch schärfer und reiner wird das *Chromatin* durch den Chromlack des *Gallocyanins* gefärbt, besonders bei Anwendung frischer Farblösungen, die das Chromatin tief blau färben, während alles übrige ungefärbt bleibt. Ältere Farblösungen tingieren nach meinen Erfahrungen schwächer und mehr graublau. Die Färbung wird weder durch Wasser noch durch Alkohol ausgezogen und ist sehr reduktionsecht. Die Farblösung wird in der Weise bereitet, daß man 0,1 g des Farbstoffes in 100 ccm einer 5prozentigen Chromalaunlösung unter öfterem Umschütteln aufkocht, wobei sich dann der in der Kälte schwer lösliche Farbstoff in tiefblauem Farbtone löst. Nach Erkalten wird die Lösung filtriert. Die Schnitte kommen aus destilliertem Wasser in die Farbe und sind meist nach 24—48 Stunden hinreichend gefärbt. Dann Auswaschen in Wasser, Übertragen in Alkohol usw.

Während mit diesen Methoden bei richtiger Färb-



dauer sich lediglich die Kerne färben, tritt bei einer Reihe von anderen Farbstoffen eine *Mitfärbung weiterer Gewebebestandteile* ein, die nicht selten infolge Metachromasie eine nachfolgende Gegenfärbung überflüssig macht. So gibt *Gallaminblau* in 5prozentiger Kali- oder Natriumalaunlösung gelöst, nach 6—24 stündiger Färbung eine überaus reine, prächtig blaue Kernfärbung, die die Schönheit einer Toluidinblau- oder Thioninfärbung erreicht; gleichzeitig färbt sich der Knorpel rötlich bis rötlich-violett. Von besonderem Werte ist, daß die Färbung den beiden genannten Farbstoffen an Echtheit weit überlegen ist.

Für *Übersichtspräparate* möchte ich an erster Stelle die Färbung mit *Anthracenblau-Aluminiumsulfat* nennen. Die Lösung wird durch Einrühren, Erhitzen und Kochen von 0,1 g Anthracenblau in eine 5prozentige wässrige Aluminiumsulfatlösung gewonnen. Nach Erkalten wird filtriert. Die Präparate sind gewöhnlich schon nach  $\frac{1}{2}$ —2 Stunden hinreichend gefärbt. Bei richtiger, nicht zu langer Färbung heben sich die Kerne in klarem, blauvioletttem Farbton sehr scharf von dem rötlich gefärbten Gewebe ab. Die Fibrillen der quergestreiften wie glatten Muskeln färben sich ebenfalls intensiv. Nach der Färbung wird in Wasser gewaschen usw. Ein Ausziehen der Färbung tritt nicht ein. Das Ergebnis der Färbung gleicht in vieler Hinsicht einer Hämalaun-Eosinfärbung.

Eine sehr reine Färbung, bei der auch die faserigen Differenzierungen schön hervortreten, ist auch durch den Chromlack des Anthracenblaus zu erzielen (0,1 g des Farbstoffes wird unter Kochen in 100 ccm einer 5prozentigen Chromalaunlösung gelöst, Färbedauer 24 Stunden). Metachromasie wie bei der Aluminiumsulfatlösung tritt bei der Chromverbindung nicht ein.

Auch *Cölestinblau* gibt als Chromlack (0,1 g des Farbstoffes werden in 100 ccm 5prozentiger Chromalaunlösung gekocht) neben einer blauen Kernfärbung eine schwach rotviolette Färbung des Bindegewebes, während Knorpel- und Schleimzellen stark rotviolett hervortreten (Färbedauer ca. 24 Stunden). Die Muskulatur bleibt dabei fast ungefärbt.

Mit *Neuechtblau* färbt sich in wässriger Lösung besonders der *hyaline Knorpel*, während die Kerne die Farbe nur schwach annehmen. Durch nachträgliches Auswaschen mit Alkohol läßt sich die Farbe fast ganz auf den Knorpel beschränken. Färbt man die Schnitte, wie *Becher* empfiehlt, zuerst in Alizarinbordeaux-Aluminiumsulfat (12—24 Stunden)<sup>2)</sup>, dann in einer wässrigen Lösung von Aurantia und nachfolgend in Neuechtblau, so bekommt man eine sehr reine, von Verschmierung freie Dreifachfärbung für Übersichtspräparate.

Die *quergestreifte Muskulatur* wird von einer wässrigen, durch Erhitzen hergestellte Lösung von *Gallaminblau* (0,1 g in 100 ccm) schon in wenigen Stunden intensiv blau gefärbt, ohne daß sie beim Durchführen durch Alkohol entfärbt wird. Kerne und Bindegewebe bleiben dabei fast ungefärbt.

Eine metachromatisch rotviolette Färbung des *Knorpels* und der *Schleimzellen* liefert *Cölestinblau* in wässriger Lösung (0,1 g in 100 ccm). Der Schnitt ist anfangs ganz angefärbt (Färbedauer 1—24 Stunden); bei nachfolgendem Differenzieren in 70—90prozentigem Alkohol wird die Färbung auf die genannten Gewebsbestandteile beschränkt.

Für die metachromatische Färbung von *Knochen- und Kalkablagerungen* hat *Becher* eine Reihe

von Methoden angegeben, von denen ich besonders die Färbung mit *Gallein* hervorheben möchte. Sollen die Kerne nur schwach gefärbt werden, so benützt man eine wässrige, durch Erhitzen hergestellte Lösung; ist die Mitfärbung der Kerne erwünscht, so verwendet man eine Lösung in 2prozentiger wässriger Boraxlösung (beide Male 0,1 g Farbstoff auf 100 ccm Boraxlösung). Kerne und Plasma färben sich in letzterem Falle violett, Knochengewebe in beiden Lösungen braunrot. Die boraxhaltige Lösung ist vor Gebrauch immer frisch herzustellen. Die Färbedauer beträgt 12—24 Stunden.

Sehr wertvoll sind die Lösungen von Gallaminblau, Alizarinblau, Anthracenblau und Naphthopurpurin in Borax zur Darstellung der Kalkkörper, da sie neben vortrefflicher Kernfärbung die *Kalkkörper*, die bei anderen Färbemethoden meist gelöst werden, vollständig unversehrt erhalten. Man löst dazu 0,1 g des Farbstoffes in 100 ccm einer 2,5prozentigen Boraxlösung und filtriert. Man färbt etwa  $\frac{1}{2}$ —3 Stunden, wäscht 15—30 Minuten in 1—2prozentiger Boraxlösung und ebenso lange in destilliertem Wasser aus und bringt durch Alkohol und Xylol in Balsam.

*Becher* benutzte zur Erprobung der Färbungen hauptsächlich Material, das in Sublimat, Sublimat-Eisessig oder Formol fixiert war. Bei der Bedeutung, welche die Art der Fixierung häufig für den Ausfall der Färbung hat, ist die Feststellung von Interesse, daß alle oben angeführten Methoden nach meinen Erfahrungen auch nach Fixierung in Zenkerscher, Carnoy'scher und Bouin'scher Flüssigkeit gute Resultate geben. Die Kernfärbungen lassen sich auch an chromiertem und mit Osmiumsäure behandeltem Material erzielen. Nur nach sehr starker Osmierung geht die Färbbarkeit in den meisten Fällen verloren.

Auch an Gefrierschnitten gelangen die angegebenen Färbungen, wenn auch (insbesondere bei den reinen Kernfärbungen wie Gallocyanin) nicht in der Schönheit wie an Paraffinpräparaten. Zur Färbung von Celloidinschnitten eignet sich nach meinen Erfahrungen besonders die Anthracenblau-Aluminiumsulfatlösung, in der das Celloidin so gut wie ungefärbt bleibt, während es sich in anderen Farblösungen wie Gallaminblau, Cölestinblau usw. sehr stark mitfärbt.

Diese kurze Übersicht läßt schon erkennen, daß die *Becherschen* Untersuchungen schon jetzt eine sehr wertvolle Bereicherung der histologischen Färbemethoden darstellen. Ihre Bedeutung wird sich durch planmäßigen Ausbau unter Berücksichtigung der Fixierung, Gegenfärbung usw. sicher noch steigern lassen. Insbesondere im Hinblick auf ihre Echtheit scheinen die Färbungen berufen zu sein, in einer Reihe von älteren Methoden, die zwar sehr schöne, aber nur kurz haltbare Ergebnisse liefern, die unechten Farbstoffkomponenten zu ersetzen.

Abgesehen von diesen praktisch wertvollen Ergebnissen brachte die Auswertung der systematisch durchgeführten Versuche *Bechers* aber auch noch wichtige Resultate hinsichtlich der Theorie der Färbung. *Becher* bespricht dieselben im zweiten Teile seines Buches, in welchem er unter eingehender Erörterung der einschlägigen Literatur die Grundlagen zu einer Theorie der histologischen Verwendung der Beizenfarben, insbesondere des „Färbens mit gelösten Lacken“ gibt. Jeder, der nicht nur an der Methodik, sondern auch an der Theorie der histologischen Färbung Interesse nimmt, sei auf diese grundlegenden Ausführungen *Bechers* noch ganz besonders hingewiesen.

Benno Romeis, München.

<sup>2)</sup> 0,1 g in 100 ccm einer 5prozentigen Aluminiumsulfatlösung.



## Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und hetero- chromen Photometrie<sup>1)</sup>.

Von C. Pulfrich, Jena.

(Fortsetzung.)

### 19. Abhängigkeit der Messungsergebnisse an Farb- filtern von der zur Beleuchtung der Objekte dienenden sog. weißen Lichtquelle.

Ich hatte bereits oben — Abschnitt 14 — bei Gelegenheit der Besprechung unseres Verfahrens zur Untersuchung farbiger Schutzgläser darauf hingewiesen, daß das Verhältnis der von einem Farbglas hindurchgelassenen Lichtmenge zu der auffallenden Menge weißen Lichtes bei Anwendung verschieden heller Lichtquellen nicht immer das gleiche bleibt. Zu dieser Erkenntnis bin ich gelangt, als ich dazu überging, mit dem vorstehend beschriebenen Photometer die Lichtdurchlässigkeit verschiedener Farbfilter für sog. weißes Licht messen zu lassen. Als Lichtquelle benutzte ich eine Osramlampe mit matt geschliffener Birne und änderte ihre Helligkeit mit Hilfe eines in die Lichtleitung eingeschalteten Rheostaten von der Rotglut bis zur Weißglut. Hierbei erwiesen sich, wie bereits oben erwähnt, die Grünfilter und auch die Blaufilter indifferent gegen solche Helligkeitsänderungen der Lampe. Das Verhältnis der durch das Filter hindurchgegangenen Lichtmenge zur auffallenden war innerhalb der Messungsfehler immer das gleiche. Ich habe den gleichen Versuch mit dem gleichen Erfolg auch mit einer alkoholischen Cyaninlösung ausführen lassen, die bekanntlich einen Absorptionsstreifen mit der Mitte bei der D-Linie besitzt und sowohl blau als auch rot durchläßt. Ganz anders aber verhielten sich die Rotfilter, die nur Rot durchlassen. Hier trat eine Änderung des Verhältnisses der durchgelassenen Lichtmenge zur auffallenden ein, und zwar immer in dem Sinne, daß der verhältnismäßige Anteil der durchgelassenen Lichtmenge an der auffallenden mit zunehmender Helligkeit der Lampe immer kleiner wurde. Die Änderungen sind keineswegs gering. War z. B. bei einem Rotfilter, das die rote Seite des Spektrums bis zu 600  $\mu$  durchließ, die Lampe auf eine mittlere Helligkeit eingestellt, und hatte die Einstellung auf Geradlinigkeit der Bewegung der Marke die Ablesung 40 : 100 ergeben, so fing die Marke sofort an zu kreisen, wenn die Helligkeit gesteigert oder vermindert wurde. Durch Neueinstellung auf Geradlinigkeit der Bewegung wurde für die angewandte größte Helligkeit der Lampe der Wert 20 : 100 und für die angewandte kleinste Helligkeit der Wert von 70 : 100 abgelesen.

Die gleiche Abhängigkeit von der Helligkeit der Lampe zeigten die dem *Lovibondschen*

*Tintometer* beigegebenen rosaroten und gelbbraunen Farbfilter.

Die Erklärung für dieses auffallende Verhalten der Rotfilter ist wohl die, daß mit steigen der Temperatur der Lampe das Energiemaximum sich immer mehr nach dem blauen Ende des Spektrums zu verschiebt. An der Steigerung der Helligkeit des ungehindert zum Auge gelangenden Lichtes sind also die blauen Strahlen sehr viel stärker beteiligt als die roten. In dem Rotfilter werden aber gerade diejenigen Teile des Spektrums, die die stärkere Helligkeitszunahme aufzuweisen haben, vollständig absorbiert. Gewiß erfährt die durchgelassene rote Lichtmenge auch eine Steigerung, die sehr wahrscheinlich proportional ist der des auffallenden roten Lichtes, aber im Verhältnis zu der gesamten Menge des auffallenden weißen Lichtes doch weit hinter dieser zurückbleibt. So erklärt es sich auch, daß Grün- und Blau-Filter, die ja das gesteigerte grünblaue Licht in gesteigertem Maße durchlassen, die beim Rot- und Gelb-Filter beobachtete Erscheinung nicht zeigen.

Nach den an Farbfiltern im durchfallenden Lichte erhaltenen Resultaten war es von weiterem Interesse, zu sehen, wie sich der verhältnismäßige Anteil der an farbigen Flächen reflektierten Lichtmenge an dem auffallenden weißen Licht, also die *Albedo* farbiger Flächen, verhält, wenn man die Helligkeit der zur Beleuchtung dienenden Lichtquelle ändert. Wir benutzten zu diesen Versuchen wieder den in Figur 22 abgebildeten Apparat und gaben ihm unter Verwendung der beiden weißen Reflektoren  $R_1$  und  $R_2$  seine Nullstellung, bei der also Geradlinigkeit der Bewegung beobachtet wird. Dann ersetzten wir den einen der beiden weißen Schirme, beispielsweise  $R_1$ , durch die zu untersuchende farbige Fläche und stellten mit Hilfe der Mikrometerschraube  $M_2$  wieder auf Geradlinigkeit ein. Die Albedo ist dann durch das Verhältnis der beiden Ablesungen an den Mikrometerschrauben  $M_2$  und  $M_1$  bestimmt. Zu den Versuchen wurden nur glanzlose farbige Flächen benutzt, die von meinem Kollegen, Herrn Dr. Gundlach, hergestellt waren. Es wurden dieselben Farbstoffe benutzt, die auch zur Herstellung der farbigen Filter dienen. Das Ergebnis der Untersuchung war im wesentlichen das gleiche, wie bei der Untersuchung der Farbfilter im durchfallenden Licht. Die grünen und blauen Papiere zeigten keinen Unterschied, das rote und rosarote Papier dagegen Abweichungen wie oben in dem Sinne, daß die Angaben der Mikrometerschraube  $M_2$  mit zunehmender Helligkeit kleiner wurden, m. a. W., die Albedo roter Flächen nimmt mit abnehmender Leuchtkraft unserer Osramlampe immer mehr zu. Wie sich solche Flächen bei Anwendung anderer Lichtquellen, insbesondere bei wechselnder Tageslichtbeleuchtung, verhalten, habe ich nicht weiter untersucht. Die Sache verdient weiter untersucht zu werden, da bekanntlich nach dem *Purkinjeschen Phänomen*

<sup>1)</sup> Im Auszug vorgetragen auf dem Physikertag in Jena am 21. September 1921.

die Leuchtkraft roter Flächen mit abnehmender Helligkeit des Tageslichtes schneller abnimmt als die von blauen Flächen.

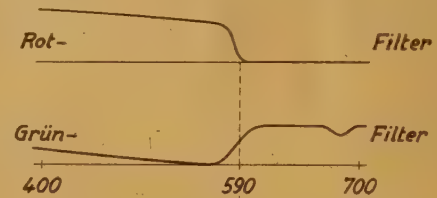
Für die Anwendung unseres Photometers als Meßapparat für die Durchlässigkeit und Reflexionsfähigkeit farbiger Körper im spektral zerlegten Licht ergibt sich nach den vorstehenden Resultaten mit Notwendigkeit die Forderung, daß man sich, wenn die von verschiedenen Beobachtern gemachten Messungen miteinander vergleichbar sein sollen, nicht allein auf eine bestimmte Lichtquelle, sondern auch auf eine bestimmte Temperatur dieser Lichtquelle einigen muß. Vielleicht genügt es, daß man sich mit dem Licht einer Petroleumlampe von einer bestimmten Größe des Rundbrenners und von einer bestimmten Flammenhöhe behilft. Eine solche Flamme strahlt nicht allein mehrere Stunden hintereinander, sondern nach erfolgter sorgfältiger Reinigung des Dochtes auch immer mit der gleichen Helligkeit.

## 20. Das Stereophotometer im Dienste der Pyrometrie.

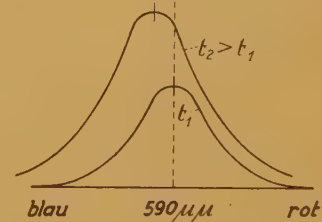
Die im vorigen Abschnitt beschriebenen Erscheinungen legen den Gedanken nahe, unsere Stereomethode unter Anwendung von passend gewählten Farbfiltern auch in den Dienst der Temperaturbestimmung glühender Körper zu stellen. Nach dem Wienschen Verschiebungsgesetz  $\lambda_m \cdot T = \text{konst.}$  wird die dem Energie-maximum zukommende Wellenlänge  $\lambda_m$  mit zunehmender absoluter Temperatur immer kleiner. In gleicher Weise muß sich daher auch das Maximum der Sichtbarkeit, die in erster Linie von der Empfindlichkeit der Netzhaut, dann aber auch von der auffallenden Strahlungsenergie in den einzelnen Teilen des Spektrums abhängt, mit wachsender Temperatur nach dem blauen Ende zu verschieben. Wenn man also bei einer bestimmten Temperatur der Lichtquelle dem einen Auge die eine Hälfte des Spektrums und dem anderen Auge die gleichhelle andere Hälfte zuführt (siehe Fig. 23), so muß bei einer Änderung der Temperatur die vorher geradlinige Bewegung der Marke in eine kreisende übergehen, rechts oder links herum, je nachdem die Temperatur steigt oder fällt, und es kann dann die zur Neueinstellung auf Geradlinigkeit erforderliche Verstellung unserer Meßschraube  $M$  nach einer vorausgegangenen empirischen Graduierung als Maß der Temperaturänderung benutzt werden. Ein solches Verfahren hat den Vorteil, daß die sonst in der Pyrometrie übliche Vergleichslichtquelle und die zu ihrer Normalisierung dienenden Hilfseinrichtungen in Wegfall kommen.

Über die Aufgabe, ein Spektrum in zwei gleichhelle Teile zu teilen, hat der im Jahre 1916 verstorbene *Hans Lehmann* eine sehr interessante Arbeit „Beiträge zur Theorie und Praxis der Farbenstereoskopie“ verfaßt, die nach seinem Tode in der Z. f. wiss. Photographie Bd. 17, S. 49

bis 68, 1917 veröffentlicht wurde. Bekanntlich hat das sog. Anaglyphen-Verfahren für die Vorführung von stereoskopischen Bildern im Auditorium eine große praktische Bedeutung. Die beiden Bilder werden in zwei verschiedenen Farben — meist grün und rot — so auf den Schirm geworfen, daß die zusammengehörigen Fernpunkte der Bilder zusammenfallen. Sie werden dann durch gleichgefärbte grünrote Brillen betrachtet. Mit dem einen Auge sieht man das grüne und mit dem anderen das rote Bild, die dann zu einem infolge der beidäugigen Farbenmischung meist farblosen Raumbild verschmelzen. Der stereoskopische Effekt ist jedenfalls ein guter, und ich habe mich bei Vorträgen über stereoskopische Dinge wiederholt und



Absorptionskurven  
gezeichnet nach dem Anblick der Spektren  
im Vergleichs-Spektroskop.



Verschiebung des Maximums der Helligkeit  
mit wachsender Temperatur der Lichtquelle.

Fig. 23. Verwendung von Farbfiltern für die Zwecke der stereoskopischen Projektion und der stereoskopischen Pyrometrie.

mit bestem Erfolg der von meinem Kollegen im Zeißwerk, Herrn Dr. Gundlach, hergestellten grün-roten Bilder und Brillen bedient. Um den Effekt in bezug auf beidäugige Farbenmischung zu einem vollkommenen zu machen, hat *Lehmann* in der erwähnten Arbeit die Forderung aufgestellt, daß die von den beiden Filtern durchgelassenen Lichtmengen gleichgroß sein müssen und sich zum Gesamtspektrum ergänzen sollen. Er hat dann mit Hilfe eines auf die Untersuchung des schwarzen Körpers gegründeten Rechenverfahrens diejenige Stelle im Spektrum für verschiedene Temperaturen zu ermitteln gesucht, bei der das Spektrum jedesmal in zwei gleichhelle Teile zerlegt wird. Leider hat der frühe Tod von *Lehmann* die endgültige Fertigstellung der in der Arbeit angekündigten sog. komplementären Zweifarbenfilter für die Zwecke der stereoskopischen Projektion verhindert.





Abbe (1870), Ges. Abh. Bd. I, S. 4) mit Mikrometerschraube, Trommelteilung und Umdrehungszähler für die Wellenlängenbestimmung und dem Beobachtungsrohr  $K_2$ . An Stelle des hier befindlichen auswechselbaren Spaltkopfes wird ein *dreiseitiges sechziggradiges Glasprisma* ( $ABC$  in Fig. 24) eingesetzt und so gerichtet, daß die Fläche  $BC$  dem Objektiv zugewandt ist und die vordere scharfe Schneide  $A$  in die Ebene des Spektrums zu liegen kommt und den Spektrallinien genau parallel gerichtet ist. Damit der Zweck dieses Prismas, die Zerlegung des Spektrums in zwei Teile entlang einer Spektrallinie, in größter Vollkommenheit erreicht wird, haben wir ein Interesse daran, statt der gekrümmten Spektrallinien vollkommen gerade zu verwenden. Man erzielt diesen Effekt bekanntlich in der Weise, daß man an die Stelle des lichtgebenden

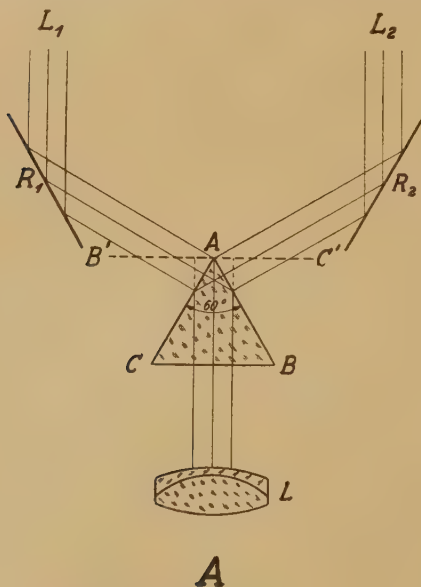


Fig. 25. Verwendung eines 60gradigen Reflexionsprismas zur Herstellung einer scharfen Trennungslinie zwischen zwei auf ihre Helligkeit miteinander zu vergleichenden Flächen.

geraden Spaltes  $T$  einen Spalt mit entsprechend gekrümmten Spaltbacken setzt.

Das Glasprisma  $ABC$  ist, allerdings im umgekehrten Strahlengang, bereits mit bestem Erfolg in der Photometrie benutzt worden (siehe Fig. 25). Es vermeidet mit einem Schlage die bei Photometern anderer Art immer wieder zu beklagende Störung, die dadurch entsteht, daß es außerordentlich schwierig ist, eine scharfe Trennungslinie zwischen den beiden miteinander zu vergleichenden Feldern herzustellen. Bei Anwendung des Prismas  $ABC$  ist zur dauernden Erreichung dieses Zweckes nur nötig, daß die beiden eben polierten Flächen  $AB$  und  $AC$  in scharfer Kante  $A$  aneinander stoßen und einen Winkel von  $60^\circ$  einschließen. Man sieht dann beim Einblick durch das auf die Schneide  $A$  eingestellte Okular

in  $AC$  das Spiegelbild  $AB'$  der von  $L_2$  beleuchteten Fläche  $AB$  und in  $AB$  das Spiegelbild  $AC'$  der von  $L_1$  beleuchteten Fläche  $AC$ . Infolge des  $60^\circ$ -Winkels kommen die beiden Spiegelbilder somit unmittelbar nebeneinander in eine senkrecht zur Blickrichtung gelegene Ebene zu liegen. Die scharfe Trennungslinie zwischen den beiden Feldern hängt ausschließlich und allein von der Sauberkeit der Kante  $A$  ab und bleibt erhalten, solange die Kante intakt bleibt.

Bei unserer jetzigen, in Fig. 24 dargestellten Anordnung treten die das Spektrum ( $r'-A-b'$  in Fig. 26) erzeugenden Strahlen durch die Fläche  $BC$  in das Prisma ein. Es findet also jetzt durch Reflexion an den in  $A$  zusammenstoßenden

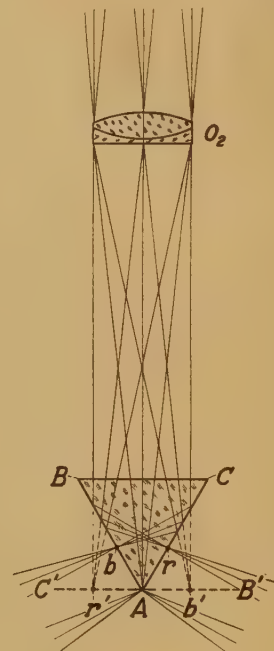


Fig. 26. Dasselbe Prisma in umgekehrter Reihenfolge des Strahlenganges für die Zerlegung eines Spektrums in zwei Teile. In der Figur ist auf die Strahlenbrechung im Glase absichtlich keine Rücksicht genommen worden.

Spiegelflächen des Prismas eine *Aufteilung des Spektrums durch die scharfe Kante A* in der Weise statt, daß die eine Hälfte durch Reflexion an  $AC$  auf die Fläche  $AB$  und die andere Hälfte durch Reflexion an  $AB$  auf die Fläche  $AC$  zu liegen kommen. Die Wahl dieses Prismas in Verbindung mit einem festarmigen Spektralapparat ist besonders deshalb eine glückliche zu nennen, weil, abgesehen von der scharfen Trennung der beiden Hälften des Spektrums, das Prisma seine Lage unverändert beibehalten kann, während die zur Messung notwendige relative Verschiebung von Spektrum und Prismenkante  $A$  hier allein durch seitliche Verschiebung des Spektrums mit Hilfe der Mikrometerschraube  $M$  vorgenommen wird. Auch können die Angaben der Mikrometerschraube ohne weiteres zur Ermittlung der Lage



der Prismenkante  $A$  innerhalb des Spektrums benutzt werden<sup>4)</sup>).

Es muß daher zunächst eine Graduierung der Angaben der Mikrometerschraube nach Wellenlängen vorgenommen werden. Wir beleuchten zu dem Ende den Spalt  $T$  mit Lichtquellen, die Spektrallinien von bekannter Wellenlänge ausstrahlen, benutzen zur Beobachtung der beiderseitigen Spektrumschälften eine an der Prismenfassung angebrachte, um die Kante  $A$  zum Drehen eingerichtete Lupe und stellen auf jede einzelne Spektrallinie so ein, daß der auf der Fläche  $AB$  liegende Teil des Spaltbildes ebenso breit ist wie der auf der Fläche  $AC$  liegende. Die den einzelnen Spektrallinien zugehörigen Wellenlängen werden in tunlichst großem Maßstab auf Millimeterpapier als Abszissen und die Ablesungen am Mikrometerwerk als Ordinaten aufgetragen. Aus der die Endpunkte der Ordinaten verbindenden Kurve kann man dann später zu jeder Ablesung am Mikrometerwerk die zugehörige Wellenlänge entnehmen.

Nach erfolgter Graduierung des Mikrometerwerks wird die Lupe zur Seite geschlagen und der für die Betrachtung der kreisenden Marke dienende Stereoskopapparat an den Spektralapparat herangerückt und zu ihm in eine solche Lage gebracht, wie sie in Fig. 24 dargestellt ist.

Der Stereo-Betrachtungsapparat besteht aus zwei mit Anpassung an den Augenabstand eingerichteten Okularen mit kreisförmigen Blenden in der Ebene des Gesichtsfeldes, ferner aus zwei Reflektoren  $R_1$  und  $R_2$ , durch die die von den Spektren kommenden Strahlen beiderseits in die Blickrichtung des Beobachters gebracht werden. Dazu kommt noch ein Objektiv  $O_3$ , welches die zwischen  $O_2$  und  $P_2$  eingesetzten Marken  $m$  und  $n$  beiderseits in den Bildfeldebene der Okulare abbildet. Die Marken hätten ebensogut als Halbbildmarken ( $m_1 n_1$  und  $m_2 n_2$ ) in die Bildfeldebene der Okulare eingesetzt werden können. In beiden Fällen erscheinen die Marken dunkel auf hellem Grunde, und zwar in dem Farbgemisch der zugehörigen Hälfte des Spektrums.

Bei dem Aufbau des Apparates ist auch darauf Rücksicht genommen worden, daß das in der Austrittspupille ( $AP$  in Fig. 24) links und rechts zustandekommende Bild der Hälfte des Spektrums so stark verkleinert wird, daß es bequem von der Pupille des Auges umfaßt wird.

Während das im nächsten Abschnitt zu beschreibende Stereo-Spektral-Photometer schon seit länger als einem Jahre zu Versuchen in Benutzung ist, war das vorbeschriebene Instrument kurz vor der Niederschrift dieser Zeilen nur so weit gediehen, daß ich mich bis jetzt nur von dem

richtigen Funktionieren der einzelnen Teile habe überzeugen können. Über die mit ihm vorzunehmenden Versuche soll später berichtet werden.

Das nächste wird sein, daß wir den von *Hans Lehmann* auf theoretischem Wege abgeleiteten Zusammenhang zwischen der Temperatur der Lichtquelle und der Lage der Spektrumsmitte *das Ergebnis unserer Messung an einer Reihe von Lichtquellen gegenüberstellen*. Da mit wachsender Temperatur der Lichtquelle die dem Maximum der Helligkeit entsprechende Stelle des Spektrums eine Verschiebung in der Richtung vom roten zum blauen Ende erleidet, so muß eine gleichgerichtete Verschiebung mit wachsender Temperatur auch für die Spektrumsmitte stattfinden. Um also unseren Apparat für die Temperaturbestimmung glühender Körper verwendbar zu machen, haben wir vorher unsere Wellenlängenskala empirisch zu graduieren, was in erster Annäherung mit Hilfe des schwarzen Körpers geschehen kann.

Ob die jedesmalige Spektrumsmitte mit dem jedesmaligen Maximum des Spektrums zusammenfällt, ist noch eine offene Frage, die aber mit dem in diesem Abschnitt beschriebenen Apparat und dem im nächsten Abschnitt beschriebenen Stereo-Spektral-Photometer beantwortet werden kann. Für die Beantwortung dieser unserer Frage ist zu berücksichtigen, daß das mit dem Stereo-Spektral-Photometer gefundene Maximum vor dem Vergleich mit der Spektrumsmitte auf das Normalspektrum reduziert werden muß (siehe dieserhalb weiter unten), während für die mit dem vorliegenden Apparat gefundene Spektrumsmitte eine solche Reduktion m. E. nicht erforderlich ist.

Auch auf verschiedene Fragen der physiologischen Optik wird der Apparat eine eindeutige Antwort geben können, so z. B., ob für ein und dieselbe Lichtquelle die Spektrumsmitte ihre Lage unverändert beibehält, wenn man die Helligkeit des Spektrums durch Einengung des Lichtspaltes  $T$  immer mehr herabdrückt. Von besonderem physiologischen Interesse wird es auch sein, die Ergebnisse der Messungen an farben-tüchtigen Personen mit den Ergebnissen der Messungen an Farbenblinden zu vergleichen.

## 22. Das Stereo-Spektral-Photometer,

mit dessen Einrichtung und Handhabung wir uns im folgenden etwas näher befassen wollen, beansprucht in theoretischer und praktischer Hinsicht ein besonderes Interesse deshalb, weil es die Möglichkeit bietet, das dem einen Auge dargebotene Gesichtsfeld mit jeder beliebigen Farbe des Spektrums einer Lichtquelle und das dem anderen Auge dargebotene Gesichtsfeld mit jeder beliebigen Farbe des Spektrums derselben oder einer anderen Lichtquelle zu erhalten und hierbei das Verhalten der „kreisenden Marke“ zu einer alle einzelnen Teile des sichtbaren Spek-

<sup>4)</sup> Die beiden das Spektrum erzeugenden Prismen  $P_1$  und  $P_2$  müssen natürlich hinsichtlich ihrer Dispersion so gewählt werden, daß das Spektrum voll von den beiden Flächen des Prismas  $ABC$  aufgenommen wird. Im anderen Falle schaltet man  $P_1$  aus und stellt das Kollimatorrohr  $K_1$  zu  $P_2$  neu ein.

trums umfassenden heterochromen Photometrie zu verwerten.

Der Aufbau des Stereo-Spektral-Photometers ist aus der Schnittzeichnung Fig. 27 und aus der

miteinander gebracht. Die beiden  $T_1$  sind die lichtgebenden Spalte, vor denen die zu untersuchenden Lichtquellen in der weiter unten angegebenen Weise aufgestellt werden. Die beiden  $T_2$  sind die ebenfalls mit Meßvorrichtungen versehene Durchlaßspalte für die zu untersuchenden Spektralbezirke.

Die Einstellung jedes der beiden Spektralapparate auf einen bestimmten von  $T_2$  durchgelassenen Spektralbezirk geschieht durch mikrometrische Drehung der Prismen  $P_1$  und  $P_2$  um ihre zugehörigen Achsen  $Z_1$  und  $Z_2$ . Die mit einem Umdrehungszähler und einer 100 teiligen Trommel versehene Mikrometerschraube  $M_1$  mißt die Drehungswinkel der Prismen. Die Scheibe  $M_2$  dient zur Aufnahme der in Einheiten von  $\mu\mu$  geteilten Wellenlängenskala in Spiralförmigkeit. In Fig. 28 ist die Spiralteilung für den rechten Apparat gut zu sehen, auch die Schnurlaufübertragung, welche es dem Beobachter ermöglicht, mit der auf dem Tisch ruhenden rechten Hand die Meßschraube  $M_1$  zu bewegen. Aus den weiter unten angegebenen Gründen wurde es für nicht erforderlich gehalten, eine ebensolche Schnurlaufübertragung auch an der Mikrometerschraube  $M_1$  des linken Apparates anzubringen. Die Ermittlung der  $\mu\mu$ -Skala geschieht in bekannter Weise auf graphischem Wege nach den Winkelangaben der Meßschraube  $M_1$  für eine größere Anzahl von Spektrallinien bekannter Wellenlänge. Die fertige Skala läßt sich dann noch in der Weise revidieren und nötigenfalls berichtigen, daß man für eine größere Anzahl von bekannten Spektrallinien die Abweichungen in den Angaben der Skala von den wahren Werten  $\mu\mu$  feststellt. Man trägt dann die gefundenen Abweichungen als Ordinaten auf und entnimmt aus der durch die Endpunkte gezogenen Kurve die an den einzelnen Strichen der  $\mu\mu$ -Skala anzubringende Korrektur.

$m$  und  $n$  in Fig. 27 sind unsere Halbbildmarken, wieder wie früher Nähnadeln. Sie befinden sich beiderseits zwischen den Prismen  $P_2$  und dem Objektiv  $O_2$ . Ihre Beobachtung geschieht in einem Doppelfernrohr  $DF$ , bei dem die Anpassung an den Augenabstand des Beobachters durch eine gleichmäßige, aber entgegengesetzt gerichtete Drehung der Einzelrohre um die mit  $T_2$  zusammenfallende Objektivachse vorgenommen wird. Damit die Marken  $m$  und  $n$  in dem auf Unendlich eingestellten Fernrohr zur Abbildung gelangen, ist dem Fernrohr beiderseits noch ein Objektiv  $O_2'$  vorgesetzt worden, das die von den einzelnen Punkten der Marken  $m$  und  $n$  ausgehenden divergierenden Strahlen als parallele Strahlenbündel dem Fernrohr zuführt. Die Vergrößerung des Fernrohres ist so gewählt, daß das in der Austrittspupille liegende Spaltbild von  $T_2$  kleiner ist als die Pupille des Auges.

Der Beobachter sieht dann in jedem der beiden Rohre das Objektiv  $O_2$  ausgefüllt durch Licht von der Spektralfarbe des von  $T_2$  hindurch-

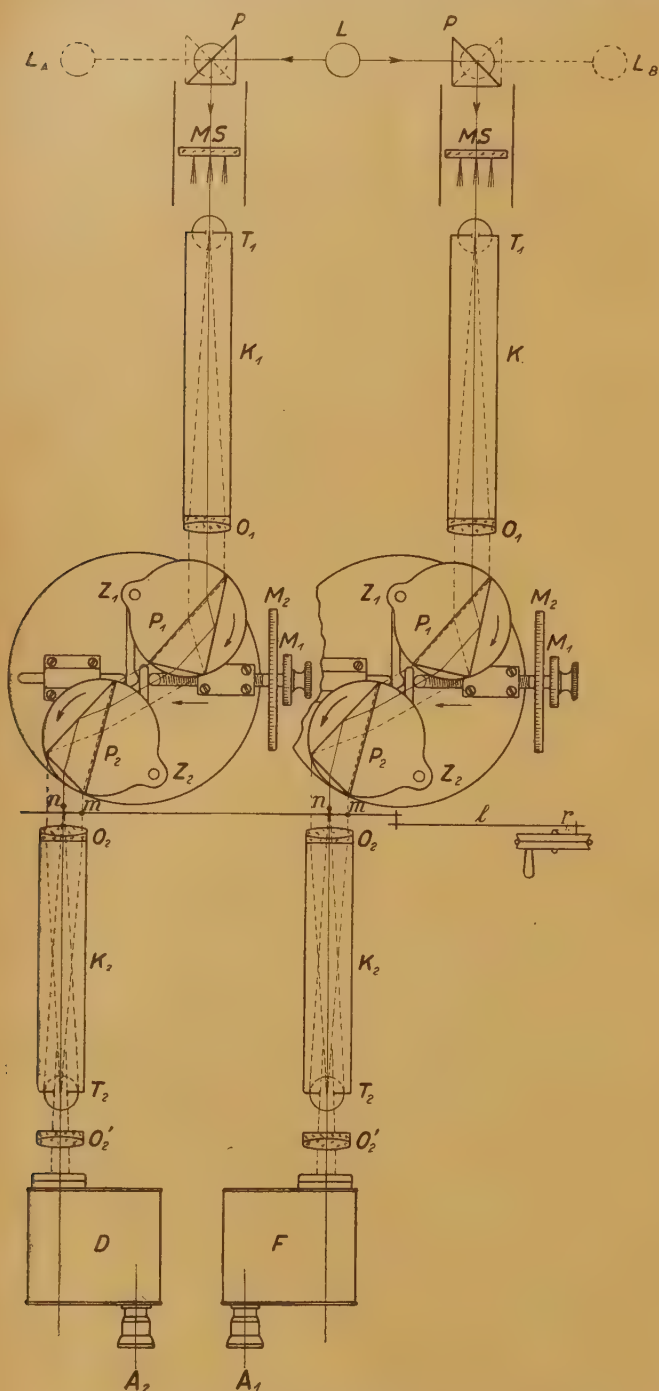


Fig. 27. Horizontalschnitt durch das Stereospektral-photometer.

nach einer Photographie des Apparates hergestellten Fig. 28 zu ersehen. Es wurden zwei festarmige geradsichtige Spektralapparate (nach Löwe l. c.), auch Monochromatoren genannt, nebeneinandergestellt und in feste Verbindung



gelassenen Spektralbezirk und darin die dunklen Marken  $m$  und  $n$ . Die übereinstimmende Höhenlage der beiden Markenbilder im  $DF$  wird durch Vertikalverschiebung des einen Objektivs  $O_2'$ , und der für die stereoskopische Betrachtung passende Abstand der beiderseitigen Markenbilder voneinander durch mikrometrische Verschiebung des anderen Objektivs  $O_2$  in horizontaler Richtung erreicht. Bei dem in Fig. 28 wiedergegebenen Apparat befinden sich diese Objektive  $O_2$  im Innern des Kollimatorrohres  $K_2$  und unmittelbar vor dem Spalt  $T_2$ , eine Anordnung, welche für die Justierung des Apparates eine Einschränkung bedeutet, die bei der vorbeschriebenen neuen Anordnung vermieden wird.

scharf zu erscheinen, in einer Ebene liegen müssen, mußte die eine Marke  $m$  so über der anderen  $n$  angeordnet werden, daß sich die Spitzen nicht berühren. Bei dem vorliegenden Stereospektral-Photometer sind wir an diese Bedingung nicht gebunden. Wir können die Marken  $m$  und  $n$  dank der Strahlenbegrenzung durch den Spalt  $T_2$  auch in zwei hintereinander gelegenen Ebenen unterbringen, ohne daß die Markenbilder aufhören gleichmäßig scharf zu erscheinen. Wir können also jetzt die Höhenlage der beiden Marken zueinander auch so wählen, daß die beiden Nadeln mit einem Teil ihrer Länge *nebeneinander* zu liegen kommen, ohne befürchten zu müssen, daß sie sich gegenseitig weh tun. Es ist

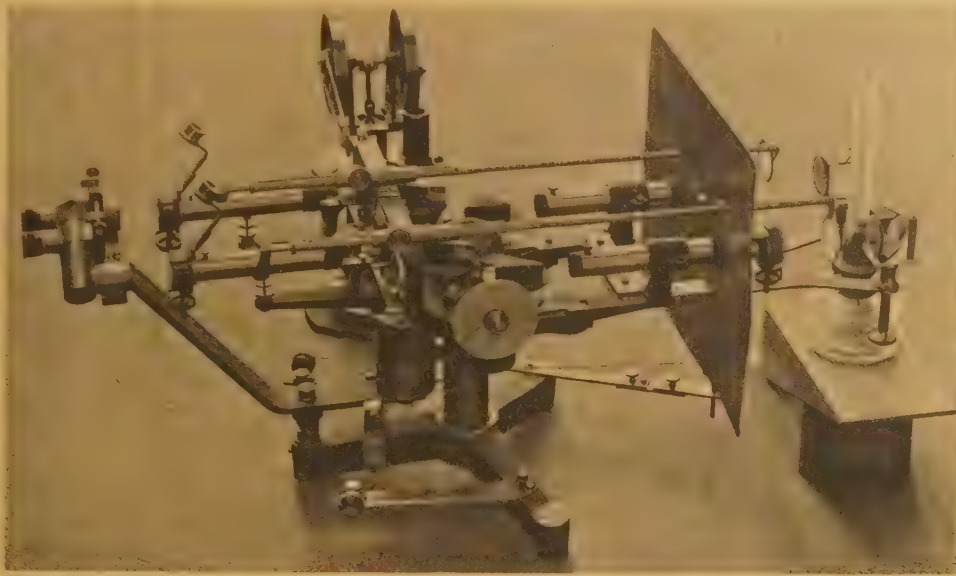


Fig. 28. Das Stereospektralphotometer (nach einer Photographie).

Von den in obiger Fig. 13 dargestellten und durch die Anordnung in Fig. 16 verwirklichten Bewegungsmöglichkeiten der Marken  $m$  und  $n$  ist hier nur zum Teil Gebrauch gemacht worden. Die Marken  $n$  bleiben stehen, und nur die Marken  $m$  werden bewegt und zwar durch den oben erwähnten, in Fig. 28 mitabgebildeten Heißluftmotor. Im übrigen kann hier, wie früher angegeben, durch Veränderung des Radius  $r$  der Drehscheibe (siehe Fig. 27) der Ausschlag der hin- und hergehenden Marke  $m$  verändert und durch Veränderung der Länge  $l$  der Kurbelstange der Mittelpunkt der kreisenden Marke zur feststehenden seitlich verschoben werden. Der Beobachter hat also die Möglichkeit, die Marke in verschieden großem Abstand um  $n$  als Mittelpunkt kreisen zu lassen (siehe Fig. 13a), oder sie in der Blickrichtung (siehe Fig. 13c) an  $n$  vorbeifliegen zu lassen.

Bei den in den Abschnitten 15, 17, 18 und 20 beschriebenen Stereophotometern waren die Marken  $m$  und  $n$  in der Bildfeldebene des Okulars untergebracht. Da sie, um gleichzeitig

nicht ausgeschlossen, daß diese Anordnung von Personen, die besonders gut stereoskopisch sehen können, bei Einstellung der Marke  $m$  nach Fig. 13c als ein Vorzug gegenüber den übereinander angeordneten Marken beurteilt wird.

Zur *Begrenzung und Einengung des Gesichtsfeldes* ist zwischen den Marken und dem Objektiv  $O_2$  je eine Schieberblende mit einer Reihe von paarweise links und rechts gleichgroßen, sonst aber verschieden großen kreisförmigen Öffnungen vorgesehen. Im allgemeinen wird man die Messung mit links und rechts gleichgroßen Blenden ausführen und den Schieber so einstellen, daß das Raumbild der Blendenöffnung *vor* das Raumbild der kreisenden Marke zu liegen kommt, wie das auch bei den stereoskopischen Landschaftsbildern der Firma der Fall ist, wo man durch die Bildumrahmung wie durch ein Fenster vom Zimmer aus auf die Landschaft draußen hinausschaut. Macht man in den Blendenrand ringsum kleine, links und rechts genau gleiche Einkerbungen, so ist die Möglichkeit gegeben, die verschiedenen Teile der Netz-

haut auf ihre Reaktionsfähigkeit der Erscheinung der kreisenden Marke gegenüber zu untersuchen. Diese Einkerbungen dienen hierbei dazu, die Blickrichtung des Beobachters festzuhalten. Bei den kleinsten Blendenöffnungen kann man diese Anhaltspunkte auch außerhalb der Blendenöffnung anbringen.

Noch ein anderes physiologisches Arbeitsgebiet soll hier kurz erwähnt werden, das sich auf die gleichzeitige Anwendung ungleichgroßer Blenden links und rechts bezieht. Es fragt sich nämlich, ob die Erscheinung der kreisenden Marke nicht durch die überschießende Randzone der durch die größere Blendenöffnung beleuchteten Netzhaut beeinflusst wird. Ich habe bisher einen solchen Einfluß nicht konstatieren können. Hatte ein gut stereoskopisch sehender Beobachter vorher bei gleichgroßen Blenden auf gleiche Helligkeit — Geradlinigkeit der Bewegung des Raumbildes der Marke  $m$  — eingestellt, so blieb die Erscheinung der Geradlinigkeit der Bewegung erhalten, wenn die eine der beiden Blendenöffnungen durch eine größere ersetzt wurde. Im ersten Augenblick ist man geneigt, zu glauben, daß die geradlinige Bewegung des Raumbildes in eine kreisende übergehen müsse, da ja durch die größere Blendenöffnung mehr Licht in das Auge gelangt als durch die kleinere. Dieses Licht verteilt sich aber auf der Netzhaut auf eine größere Fläche, wobei die Flächenhelligkeit die gleiche bleibt. Eine etwaige Änderung der Erscheinung kann daher nur durch den Einfluß der vorbezeichneten überschießenden Zone der beleuchteten Netzhaut hervorgerufen werden. Die Sache verdient weiter untersucht zu werden, doch ist hierzu nicht unbedingt das Stereo-Spektral-Photometer erforderlich. Derartige Untersuchungen können auch mit einem einfacheren Apparat gemacht werden, sofern man diesen ebenfalls mit auswechselbaren Blendenöffnungen ausrüstet.

### 23. Die Regulierung der Beleuchtung.

Für den Vergleich der Helligkeiten zweier Spektralbezirke des Spektrums einer Lichtquelle ist es von größter Bedeutung, daß die Helligkeiten in beiden Gesichtsfeldern für einen und denselben Spektralbezirk genau gleich sind. Zwar kann man durch Vertauschen von links und rechts den Einfluß einer ungleichen Beleuchtung unschädlich machen, doch ist es von Vorteil, auf die Wiederholung dieses Vergleichs verzichten zu können, was auch der Fall ist, wenn man die Beleuchtung für beide Spalte  $T_1$  genau gleich macht.

Zunächst haben wir also dem Apparat selbst seine Nulleinstellung zu geben, d. h. man stellt die vier Spalte  $T_1$  und  $T_2$  auf genau die gleiche Spaltbreite und mit Hilfe eines nachträglich vor  $T_2$  angebrachten verstellbaren horizontalen Spaltes  $T_2$  auch auf gleiche Länge ein. Alsdann darf, wenn in beiden Apparaten links und rechts auf den gleichen Spektralbezirk eingestellt wird —

bei diskontinuierlichen Spektren benutzt man die gleiche Spektrallinie links und rechts —, das Raumbild der hin und her gehenden Marke *kein Kreisen mehr* erkennen lassen. Hierbei ist allerdings vorausgesetzt, daß die beiden Prismen  $P_1$  und  $P_2$  in der Werkstatt so eingestellt sind, daß die in  $T_2$  sichtbaren Bilder von  $T_1$  im linken und im rechten Apparat genau die gleiche Breite erhalten, wie der lichtgebende Spalt, eine Forderung, die beim Justieren des Apparates in der Werkstätte in ausreichendem Maße erfüllt ist.

Die *ersten Versuche* mit dem Stereo-Spektral-Photometer habe ich an dem Licht einer *Petroleumlampe* mit Rundbrenner vornehmen lassen. Die Lampe wurde einfach zwischen zwei rechtwinkelige Reflexionsprismen gestellt, die außen auf die Spaltköpfe von  $T_1$  aufgesetzt waren. Nach sorgfältigem Reinigen des Dochtes gelang es durch Drehen und Verschieben der Lampe eine ausreichend gleichmäßige Beleuchtung in beiden Bildfeldern herzustellen. Die Anordnung versagte aber vollständig, als ich daran ging, zur Beleuchtung der beiden Spalte  $T_1$  Gasglühlicht oder das Licht einer elektrischen Glühlampe oder einer Quecksilberlampe zu verwenden.

Ich bin dann zu der aus Fig. 27 und 28 ersichtlichen neuen Versuchsanordnung übergegangen und darf nach den damit gemachten Erfahrungen wohl sagen, damit das Richtige getroffen zu haben. Die Lampe und die beiden Reflexionsprismen habe ich hierbei auf einen Abstand von etwa 15 cm vom Apparat fortgerückt, um Platz zu gewinnen für eine beiderseits zwischen dem Prisma und dem Spalt einzusetzende mattgeätzte Glasplatte ( $MS$  in Fig. 27), deren Abstand vom Spalt vom Beobachtungsplatz aus innerhalb der angegebenen Grenzen beliebig variiert werden kann. Auf diese Weise wird die Glasplatte zu einer sekundären Lichtquelle, die nicht allein eine vollkommen gleichmäßige Erhellung des Gesichtsfeldes gewährleistet, sondern auch ermöglicht, die Helligkeiten links und rechts einander genau gleich zu machen, was, wie gesagt, daran erkannt wird, daß die Bewegung des Raumbildes der Marke als eine geradlinige erscheint.

Die Verschiebung der Mattscheibe  $MS$  geschieht, wie aus Fig. 28 ersichtlich, mittels Zahn und Trieb. Ein neben der Triebstange befindlicher mm-Maßstab gibt dem Beobachter an seinem Platz jederzeit Aufschluß darüber, wo sich die Glasplatte befindet. Gegen seitlich auffallendes Licht ist die Glasplatte durch die aus Fig. 27 erkennbare Blende — in Fig. 28 absichtlich weggelassen — geschützt. Auch kann die Glasplatte durch Drehen der Stange in der vorderen nahe dem Spalt  $T_1$  gelegenen Anschlagstellung nach oben gestellt und somit aus dem Strahlengang ausgeschaltet werden. In dieser Lage läßt sich die Glasplatte  $MS$  ganz hinter den Spaltkopf zurückziehen, so daß jetzt der Spalt  $T_1$  für die Anbringung einer Geißlerschen Röhre z. B. vollständig frei liegt. Das Ausschalten der



Glasplatte aus dem Strahlengang ist besonders wichtig für die erstmalige Einstellung der Lampe und der beiden Reflexionsprismen, die so zu erfolgen hat, daß eine tunlichst gleichmäßige Erleuchtung beider Gesichtsfelder erreicht wird.

Jedes der beiden vorgenannten Reflexionsprismen ist auf einem am Apparat angeschraubten Arm befestigt und um die Vertikalachse zum Drehen eingerichtet, so daß wir bei dem Vergleich von zwei Lichtquellen eine derselben oder auch beide von außen vor die Prismen stellen können.

(Schluß folgt.)

## Besprechungen.

**Chance, Edgar, The Cuckoo's Secret.** This book gives a detailed account of Mr. Chance's successful study of the longstanding mystery of the Cuckoo, which has culminated in his securing the unique Kinematographic records forming the film and other photographs illustrating the narrative of Mr. Chance's triumph over difficulties that have hitherto baffled naturalists. (Umschlagaufdruck.) London, Sidgwick & Jackson Ltd. 1922, XIV, 213 S. 14 × 21 cm. Preis 7 sh. 6 d.

Einen übelwollenden Leser davon zu überzeugen, daß gerade ich dazu berufen sei, die neuen Kuckuckstudien des Briten *Edgar Chance* zu beurteilen, wäre ich kaum imstande. Bin ich doch so wenig Kuckucksspezialist, daß ich mich gerade um diese Art nicht sonderlich gekümmert habe. Dem könnte ich aber entgegenhalten, daß, wenn schon die gesamte Tierbiologie letzten Endes eine *einheitliche* Wissenschaft sei, dies von der Biologie der Vögel noch in weit höherem Maße gelte. Dieser Gedankengang bestimmte mich denn auch, die Aufgabe zu übernehmen.

Im allgemeinen ist das Besprechen von Büchern keine meiner Lieblingsbeschäftigungen. Gründlich betrieben, erfordert es sehr viel Zeit, und dieses Zeitopfer pflegt sich bei solchen Werken, deren Inhalt nicht zu der eigensten Gedankenwelt des Berichtstatters gehört, nicht recht bezahlt zu machen.

Daher habe ich mein persönliches Urteil über das Buch des britischen Biologen eigentlich schon gefällt, wenn ich sage, daß mir das genauere Eindringen in seinen Inhalt einen hohen Genuß verschaffte. Ja, ich möchte fast behaupten, daß nur eine andere Spezialuntersuchung mich je derartig gefesselt hat. Das war Dr. *Hermann Müllers* Schrift „Am Neste“, in welcher der Verfasser davon berichtet, wie er gefangenen Erlenzeisigen die Geheimnisse ihres Brutlebens ablauschte. Jenes Büchlein ist fast vergessen, obgleich die Jahre noch nicht allzulange vorüber sind, da selbst der Fachornithologe beinahe an die Volkssage glaubte, daß *Chrysomitris spinus* L. sein Nest unsichtbar zu machen wisse. *Edgar Chance* wird das Schicksal seines deutschen Fachgenossen kaum teilen. Ist doch *Oculus canorus* L. sozusagen ein sensationeller Vogel. Und sensationell ist auch die Methode des Briten, die Kinematographie in den Dienst seiner Studien zu stellen. Auch das ist heute Trumpf. Hoffen doch viele, durch neuzeitlich-technische Methoden bei der wissenschaftlichen Forschung die unangenehme Denkarbeit mehr und mehr überflüssig zu machen. Ich glaube nicht, daß der Verfasser an der Meinung dieser Leute viel Freude hätte. Der Mann war auch hier wichtiger als

die Methode, und nur als Werkzeug eines geschulten Beobachters und logisch und tief schürfenden Biologen vermochte die Lichtbildkunst zu den Ergebnissen zu führen, die wir hier neidlos bewundern sollen. Die „smartness“ allein hat auch hier nicht zum Ziele geführt; wer das vermeinte, täte dem denkenden Forscher in *Edgar Chance* bitterstes Unrecht und zeigte, daß ihm selbst die geistige Reife zur rechten Einschätzung solcher Arbeit nur allzusehr mangelt.

*Edgar Chance* ist jedoch nicht nur tief schürfender Forscher, sondern auch ein geschickter Schriftsteller; er erzählt so frisch von der Leber hinweg, daß sein Buch, ganz abgesehen von dem Stoff, auch einen bedeutenden literarischen Wert besitzt. Einzelne Abschnitte daraus könnte man getrost in ein englisches Schullesebuch für unsere deutschen Schulen aufnehmen. Die deutschen Knaben möchten daraus, nicht zu ihrem Nachteil, erkennen, daß unsere Vettern jenseits des Kanals (der Schüler des deutschen Zoologen *Eugen Rey* fühlte sich offenbar als solcher) ihren praktischen Sinn auch bei wissenschaftlichen Arbeiten nicht verleugnen. Außerdem spricht aus diesem Buche allüberall die gesunde Naturfreude eines unverbildeten, unverkümmerten Geistes, der sich daran gewöhnt hat, eigene Wege zu gehen. Wollte sich jeder angehende Zoologe recht eingehend damit beschäftigen, so würde die Zahl der Doktordissertationen, die von der Lehrer Tische fielen, vielleicht in absehbarer Zeit merklich zusammenschrumpfen.

Der Verfasser selber behauptet, er habe vor allem drei Ziele verfolgt:

1. festzustellen, welche Zwischenzeit der Kuckuck in der Regel zwischen dem Legen seiner einzelnen Eier verstreichen läßt,

2. die Zahl der Eier zu bestimmen, die ein Kuckucksweibchen unter günstigen Bedingungen in einer Legezeit hervorbringen kann,

- und 3. die Vorgänge vor dem Legen eines Eis und während dieses Geschäftes zu schildern.

Hinsichtlich aller drei Fragen vermag uns *Edgar Chance* befriedigende Auskunft zu geben. Der Zwischenraum zwischen dem Legen der einzelnen Eier beträgt fast ausnahmslos zwei Tage, die Zahl der Eier mag während einer Legezeit unter den denkbar günstigsten Verhältnissen zwanzig bis zweiundzwanzig sein, und auch die in Punkt drei angegebenen Vorgänge lassen sich ganz kurz und formelhaft schildern: Nachdem das Kuckucksweibchen sich darüber klar geworden ist, in welches Nest es sein Ei legen soll, verbringt es einige Zeit auf einem nahen Baum, um dann gleitenden Fluges geradenwegs seinem Ziele zuzusteuern. Hier entnimmt es dem Gelege der Pflegeeltern ein Ei, das es im Schnabel behält, während es, in die Nestmulde geschmiegt, die Ablage des eigenen Eis in auffällig kurzer Zeit (8—10 Sekunden) erledigt, um dann, das Ei der Wirtsvögel im Schnabel entführend, wieder abzustreichen.

Unserer Ansicht nach denkt *Chance* von seiner Leistung aber *viel* zu bescheiden, wenn er sie in solcher Weise begrenzen möchte. Der Biologe kann aus diesem Kuckucksbuch noch eine Unmenge *anderer* Dinge lernen, nicht nur bezüglich des Kuckucks, sondern auch hinsichtlich des Verhaltens und der Nistgewohnheiten solcher Pflegeeltern wie *Anthus pratensis* L., *Lanius collurio* L. u. a. m. Dabei müssen wir noch besonders hervorheben, daß nicht nur die tatsächlichen Ergebnisse dieser Forschungen das Wissen des Lesers bereichern, sondern daß auch die



Art und Weise, wie *Chance* zu diesen Ergebnissen zu gelangen suchte, im höchsten Grade zu fesseln vermag. Wie wir schon hervorhoben, bringt nicht der kinematographische Apparat das alles zuwege, sondern der geschulte Beobachter, der mit ihm arbeitet. Für unzählige andere hätte auch hier das Wort des Dichters recht behalten: „Wenn sie den Stein der Weisen hätten, der Weise mangelte dem Stein.“ Nicht ohne guten Grund hoben wir dabei schon einmal die *Naturfreude* des Verfassers hervor. Dies Werk ist in der Tat ein fröhliches Buch, in dem uns fast auf jeder Seite jene Lust, jene Liebe entgegenlachen, die unser *Goethe*, der ja auch zur Zunft der Biologen gehörte, mit Recht die „Fittiche zu großen Taten“ nannte.

Es gibt nicht viel Forscher, die bei ähnlichen Stoffen alles Herumreden so zu vermeiden wissen. In der Regel ist die Beweisführung des Verfassers überaus einfach und auch Theorien werden mit so selbstverständlicher Klarheit vorgetragen, daß sie dem Leser ganz unmittelbar einleuchten. Um das an einem Beispiel zu erweisen, möchte ich hier nur einen ganz kurzen Abschnitt wiedergeben. (S. 211.)

„Angesichts der bauenden Vögel, die er hinters Licht führen möchte, empfängt der Kuckuck sein Ei, und in der Regel ist er bereit, es in das erwählte Nest zu legen oder unterzubringen, bevor die richtigen Eigentümer zu brüten begannen. In dem Fall unserer Wiesenpieper-Kuckucksrasse nahmen sie eines der richtigen Eier auf, wenn sie zu dem Nest kamen und behielten es, während sie legten, in ihrem Schnabel. Wenn der Kuckuck gestört wurde, nachdem er das Ei aufgenommen hatte, aber bevor er ins Nest ging, um zu legen, flog er nur fort, um wieder dorthin zurückzukehren — in einem Fall geschah das fast zwei Stunden später — und nahm dann ein zweites Ei der Pflegeeltern auf, wenn er wieder zum Neste kam. Dadurch, daß er ein Ei der Pflegeeltern aufnimmt und es während des Legens im Schnabel behält, vermeidet der Kuckuck das Risiko, aus Versehen sein eigenes Ei wieder fortzutragen.“

Welche Unmenge von Tatsachen erwähnen nicht diese wenigen Zeilen, und wie einleuchtend ist nicht ihre logische Erklärung!

Dabei bleibt es jedoch selbstverständlich, daß ein Stoff wie dieser, der zur Aufstellung von Hypothesen geradezu herausfordert, den Verfasser mitunter auch zu Erklärungsversuchen verleitet, die nicht von so durchsichtiger Klarheit sind, wie die soeben angeführten Sätze. Wie wir das meinen, wird auch hier ein kurzes Zitat am allerbesten zeigen können. In dem Kapitel über die Pflegeeltern des Kuckucks äußert sich *Chance* (S. 195) folgendermaßen:

„Es ist möglich, daß ein revierbeherrschender (s. u.) Kuckuck auch daran schuld werden mag, daß ein anderer Kuckuck von nachgiebiger Natur (*dieser* Ausdruck ist ziemlich unglücklich gewählt. D. B.) ein anderes Nest benutzt, als er beabsichtigte. Man denke an den Fall, wo Kuckuck B. sein Ei in ein Leinzeisignest (*Linota cannabina* L.) legte, das sich im Gebiet des Kuckucks A. befand. (15. Mai 1920.) Nun war dies Leinfinkennest, das ganz unten im Dickicht stand, nur dreieinhalb Meter von dem Wiesenpiepernest entfernt, welches das erste Ei des Kuckucks A. enthielt. Es ist mehr als wahrscheinlich, daß Kuckuck B. sein Ei für das Wiesenpiepernest bestimmt hatte, welches das erste Ei des Kuckucks A. enthielt, und zwar schon früher als A. das tat. Es ist höchst wahrscheinlich, daß B., als er zum Legen abflog, das Leinfinkennest, das er leichter fand, mit dem Wiesenpiepernest ver-

wechselte und für das Wiesenpiepernest hielt, in das er zu legen gedachte. Es ist aber auch möglich, daß A. seine Gegenwart merkte und B. in solchem Grade scheu und wirr machte, daß er in seiner Wahl achtlos wurde.“

Hier haben wir es mit einem Begriffshaufen zu tun, der die vollkommen durchsichtige Klarheit des früheren Zitats vermissen läßt. Daß es sich dabei aber nur um eine seltene Ausnahme handelt, kann ich leicht beweisen. Ich hatte nämlich diese Stelle aus dem Auge verloren und suchte nach einer ähnlichen. Die Suche erwies sich aber als vergeblich, bis ich zu guterletzt die verlorene Stelle wiederfand.

Wollte man von diesem Kuckucksbuch eine rechte Vorstellung vermitteln, so müßte man schlechterdings große Abschnitte von ihm wiedergeben, was hier doch nicht gut anginge. Hoffen wir, daß es recht bald in einer deutschen Übersetzung vorliegt; es verdiente das mehr, als unzählige andere Bücher, die man mit schwer erklärlicher Hast übertragen hat. Vorläufig muß ich mich darauf beschränken, die Ansicht des britischen Biologen über die entscheidenden Fragen vorzutragen.

*Edgar Chance* bestätigt die Meinung der Ornithologen, die hervorheben, daß bei *Cuculus canorus* die Weibchen in ähnlicher Weise um die Reviere kämpfen, wie bei anderen Arten die Männchen. Das Weibchen, das zuletzt die Verfügung über ein bestimmtes Revier im wesentlichen behalten hat, nennt er dominant Cuckoo.

Dieses Weibchen bringt nunmehr seine Eier in den Nestern einer ganz bestimmten Vogelart unter. Wir dürfen *Chance* wohl beipflichten, wenn er des Glaubens lebt, das sei immer die Art, von der das betreffende Weibchen selber aufgezogen wurde. Sobald es Artgenossen seiner eigenen Pflegeeltern beim Nestbau erblickt, gerät das geschlechtsreife Weibchen selber in Erregung und die Legeperiode des betreffenden Jahres nimmt ihren Anfang. Von der Zahl der Eier, dem Zeitabstand zwischen der Ablage der einzelnen Eier und den Vorgängen während der Eiablage haben wir schon oben gesprochen.

Auch den Umstand, daß die Kuckuckseier mit denen der Pflegeeltern hinsichtlich der Färbung so auffällig übereinstimmen, führt *Chance* einzig und allein auf die Tatsache zurück, daß es mehrere Kuckucksrassen gibt, die sich bei ihrer parasitischen Gewohnheit ausschließlich an Wiesenpieper oder Schilfsänger (*Acrocephalus streperus* Vicillot) oder Rotkehlchen (*Erithacus rubecula* L.) oder Rotrückenvürger (*Lanius collurio* L.) oder an eine ähnliche Art halten. Hierbei entwickelt er sogar einen gewissen schelmischen Humor, wenn es gilt, die schier metaphysischen Träumereien jener Fachgenossen abzuweisen, welche die besondere Färbung der Kuckuckseier in jedem Einzelfalle auf Willenskonzentration des Weibchens zurückführen möchten. Es wäre das auch wirklich ein Verfahren, das sich wohl manche menschliche Mutter im Hinblick auf ihre zu erwartende Nachkommenschaft gern zum Vorbild nehmen möchte.

Überaus anschaulich schildert der britische Forscher die Art und Weise, wie der junge Kuckuck, der sich — seltenste Ausnahmen abgerechnet, welche die Regel nur bestätigen — als einziger seiner Art im Nest der Pflegeeltern findet, der Stiefgeschwister dadurch entledigt, daß er sie mit seinem muldenförmigen Rücken aus dem Nest herausschaufelt, ein Schicksal, das auch der Schwächere zweier Kuckucksnestlinge teilen müßte, so daß eine solche Belegung der Verbreitung der Art nicht das Mindeste nützen könnte. Zu weit geht *Chance* wohl, wenn er annimmt, die Pflegemutter lasse es sich angelegen sein, dem Pflegekinde bei seinem mörder-



rischen Tun selber freie Bahn zu machen. Wenn sie sich gegebenenfalls im Neste halb aufrichtet und damit so verhält, daß man auf jenen Gedanken kommen könnte, so ist das sicherlich nur eine ganz unwillkürliche Reflexwirkung auf die Bewegungen des rastlos schaufelnden Jungvogels. Ebenso ist es sicherlich nicht „Stolz“ („pride“) auf den *stattlichen* Nestling, was die Amme nach *Chances* Meinung dazu veranlaßt, sich dessen Aufzucht mit besonderer Emsigkeit zu widmen. Die Art *Cuculus canorus* wäre wohl schon zugrundegegangen, hätten nicht ihre Nahrung heischenden Nestlinge Bewegungsreihen ausgebildet, die von ganz besonderer Wirkung auf die Pflegeeltern waren. Man sieht auch hier wieder, daß wir Naturforscher anthropomorphe Gedankengänge bei dem allerbesten Willen doch nicht mit Stumpf und Stiel auszuröten vermögen. Doch wollen wir das hier beileibe nicht besonders hervorheben, da grade *Chance* in der Hinsicht keinen sonderlichen Vorwurf verdienen möchte.

Hinsichtlich der örtlichen Bindung der einzelnen Kuckucksweibchen dürfte *Chance* wohl etwas vorschnell verallgemeinert haben, wenn er annimmt, daß sie ausnahmslos Jahr für Jahr ein ganz bestimmtes Revier innehalten. Seine eigenen Wahrnehmungen in der Beziehung beanstanden wir nicht im geringsten, doch dürfen wir darüber nicht vergessen, daß zigeunerhafte Lebensgewohnheiten, bedingt durch ungleichmäßige Verteilung ihrer Hauptnahrung, der haarigen Raupen, vermutlich gerade die Entwicklung des ganzen Brutparasitismus bedingt haben, um dessen willen uns *Cuculus canorus* so interessant erscheint. Daß es sich dabei nicht nur um Theorien handelt, erfuhr ich ja selber anno 1917, wo die Geserichwälder eine solche Unmenge dieser Vögel beherbergten, daß der Kuckuck sich dort dutzendweise umhertrieb, wo er sich, wie in den Gärten der Dt.-Eylauer Parkstraße, weder vorher noch nachher erspähen ließ. Dabei brauche ich mir nur ein bestimmtes Bild in die Erinnerung zurückzurufen, um zu fühlen, daß doch sehr viele Dinge im Leben des Kuckucks sich noch immer einer endgültigen Beurteilung entziehen dürften. Dieses Bild zeigt mir ein Kuckucksweibchen auf einem Holzstapel inmitten des Wiesengeländes am Geserichsee, wo es gleichzeitig von drei Kuckucksmännchen umworben wird.

Meiner Ansicht nach liegen die Dinge in genetischer Hinsicht wohl so, daß der Trieb zum Zigeunerleben, der den Kuckuck zum Brutparasiten machte, s. Zt. nicht bei allen Weibchen in gleicher Stärke auftrat. Nur die Stücke, bei denen der Bewegungstrieb am stärksten war, mögen den Nestbau unterlassen haben und ihre Eier in den Nestern gleichartiger Weibchen untergebracht haben. Erst auf diesem Umweg sind sie wohl dazu gelangt, artfremde Vögel mit der Aufzucht ihrer Nachkommen zu beauftragen, bis schließlich alle Kuckucksweibchen Parasiten geworden waren, die nicht mehr an eigenen Nestbau dachten. Daß sich dabei durchaus keine gesetzlosen Gewohnheiten ergaben, sondern ganz feste Beziehungen zu bestimmten Pflegeeltern mehr und mehr hervortraten, geht aus *Edgar Chances* Beobachtungen klar genug hervor.

Damit wollen wir von diesem inhaltsreichen Buch Abschied nehmen. Es ist in seiner Art ein Königsbau, der vielen, vielen Kärnern Arbeit geben dürfte und bedeutet einen Markstein in der Geschichte der biologischen Forschung. Unzweifelhaft wird man von *Edgar Chance* noch reden, wenn die Namen vieler Zeitgenossen, die heute gar anspruchsvoll glänzen, völliger Vergessenheit anheimgefallen sind.

Fritz Braun, Danzig.

## Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

In der Fachsitzung am 15. Mai sprach Professor *Fritz Jaeger* (Berlin) über **Bau und Bild von Südwestafrika**. Die Hauptzüge des Landes können nur verstanden werden, wenn man sie im Zusammenhang mit dem Aufbau von ganz Südafrika betrachtet. Dieses stellt ein Hochland von flach schüsselförmiger Beckengestalt dar, das Höhen von 1000 bis 2000 m aufweist. In steilem Abfall senkt es sich nach der Küstenabdachung, die als schmaler Saum den Südtel des afrikanischen Kontinentes umzieht. Das Innere des Hochlandes ist größtenteils mit lockerem Aufschüttungsmaterial erfüllt. Alle drei Formelemente finden wir auch in Südwestafrika, nämlich das Aufschüttungsgebiet der Kalahari, die Randhochländer mit Steilabfall nach Westen und die flache Küstenebene der Namib. Zu diesen drei Oberflächenformen gesellen sich drei Strukturtypen, nämlich Grundgebirge mit steil augerichteten Gesteinen, Tafelland und Aufschüttungsland. Das Grundgebirge, das in den Randhochländern neben dem Tafellande vorkommt, besteht im wesentlichen aus Gneis, Granit, Glimmerschiefer, Marmor und ist vielfach durchsetzt von Diabasgängen. Die südliche Hälfte, das Namaland, ist ein, vorwiegend aus den paläozoischen Nama- und Karrooformationen aufgebautes Tafelland, in dem auch das Dwyka-Konglomerat, die Moräne einer permokarbonen Eiszeit, vorkommt. Einzelne, meist aus Granit oder Glimmerschiefer bestehende Berge und Gebirge ragen aus der Hochfläche des Binnenhochlandes empor. Die abgetragene Rumpffläche läßt sich in die Tafelländer hinein verfolgen. Manche Inselberge, wie z. B. der am Westrande 500–600 m über das Hochland aufragende Gansberg, tragen oben eine Decke von Quarziten.

Im Norden bilden Kalke und Dolomite die Gesteine der Otavifformation. Die Rumpffläche ist zwar im ganzen Gebiet einheitlich, doch hat sie keine gleichförmige Abdachung, sondern wird durch eine zentrale Aufwölbung in der Nähe von Windhuk in mehrere Abflußgebiete geteilt. Überreste der Gesteinsmasse ragen als isolierte Inselberge über die Rumpffläche empor. Die Otavifformation bildet ein Faltengebirge von ziemlich regelmäßigem Bau, etwa dem Schweizer Jura vergleichbar. Von den Gesteinsfalten sind jedoch die emporgefalteten Sättel (Antiklinalen), die aus leicht zerstörbaren Graniten und Sandsteinen bestanden, inzwischen durch die Verwitterung abgetragen worden, während die in den muldenförmigen Trögen (Synklinalen) eingefalteten harten Kalke und Dolomite mehr Widerstand geleistet haben und jetzt als Massive emporragen. Die heutigen Oberflächenformen zeigen also umgekehrte Verhältnisse wie der ursprüngliche Gebirgsbau.

Der Große Brukaros ist der Form nach ein Vulkan. Seine äußeren Hänge bestehen aber nach *Rogers* aus horizontal gelagerten Sandsteinen und Tonschiefern der Fischflußformation. Das Zentrum nimmt ein 3 km weiter Explosionsschlot ein, der mit Trümmernmaterial ausgefüllt ist, das schräg nach innen einfällt. Die Kraterform wird nur durch eine härtere Gesteinschicht bedingt.

Wahrscheinlich sind alle Aufragungen über die Rumpffläche nur Überreste der Abtragung, die meistens der größeren Widerstandsfähigkeit der betreffenden Gesteinsschichten zu verdanken sind. Häufig kommt es vor, daß ein Fluß, anstatt um einen einzeln stehenden Berg herumzufließen, diesen in enger Schlucht durchbricht, ein Beweis, daß der Fluß früher in einem



höheren Niveau geflossen ist, bei der allgemeinen Abtragung sich immer tiefer eingeschnitten hat, und daß ein besonders widerstandsfähiger Teil des von ihm durchschnittenen Gebietes später als isolierte Erhebung herauspräpariert wurde.

Daß die Zertalung der Landschaft trotz des geringen Küstenabstandes und der großen Höhe von 1000 bis 2000 m über dem Meere doch im ganzen recht gering ist, muß der Trockenheit des Klimas zugeschrieben werden. Der einzige Fluß, der ein richtiges Tal in die Hochfläche eingeschnitten hat, ist der dauernd fließende Oranje und seine Nebenflüsse Fischfluß und Konkib. Letztere beiden teilen das Namaland in drei meridional verlaufende Längstreifen. Im Fischflußtal findet sich ein cañonartiger Einschnitt. Der Steilabfall zum Küstenvorland ist in Südwestafrika nicht so geschlossen wie sonst in Südafrika. Im Norden wird er durch einen allmählichen Übergang ersetzt. Erst in 19° südl. Breite beginnt er wieder und setzt sich dann bis nach Angola hinein fort. Dieser westliche Steilabfall ist jedoch nicht, wie man vermuten könnte, eine Verwerfung längs eines Bruches, sondern durch Abtragungsvorgänge geschaffen.

Die Küstenabdachung selbst stellt eine schiefe Ebene dar, die mit der Neigung 1 : 100 landeinwärts ansteigt. Sie besteht nicht etwa aus Schwemmland, ist vielmehr ebenfalls eine Rumpffläche mit herausragenden Inselbergen. Im nördlichen Teil, wo die Flüsse noch zeitweise das Meer erreichen, weil sie aus dem regenreicheren Hinterland gespeist werden, kommen cañonartige Täler vor. Im trockenen Süden dagegen schließt sich der Dünengürtel der Namibwüste direkt an die Küste an.

Der Vortragende erläuterte seine Ausführungen durch eine Anzahl von Lichtbildern, welche die verschiedenen Landschaftsformen in anschaulicher und lehrreicher Weise zur Darstellung brachten.

Die Sitzung am 10. Juni fordert, wie der Vorsitzende, Geheimrat E. Kohlschütter hervorhob, aus dem Grunde eine besondere Beachtung, weil zum ersten Male seit 1914 ein Angehöriger des Feindbundes sich erboten hatte, in der Gesellschaft über den Verlauf seiner Expedition zu berichten.

Bekanntlich hatten nach einem Bericht in Nr. 2555 der englischen Zeitschrift „Nature“ die feindlichen Delegierten der großen internationalen wissenschaftlichen Organisationen auf ihrer Konferenz in London die feierliche Erklärung abgegeben, daß die wissenschaftlichen Akademien der alliierten Nationen es ablehnen, persönliche Beziehungen mit Deutschland zu unterhalten, bis die Zentralmächte wieder in die Gemeinschaft der zivilisierten Nationen zugelassen werden können. Dieser Beschluß ist von den einzelnen, mit Namen angeführten Vertretern (für Italien Professor V. Volterra) einstimmig gefaßt worden in vollem Bewußtsein und sogar mit ausdrücklicher Betonung der Verantwortung, welche jene Vertreter der Wissenschaft damit auf sich nahmen. Wenn sich auch inzwischen manche Fäden internationaler wissenschaftlicher Beziehungen trotz dieses Boykotts wieder angesponnen haben, so verdient es als ein erfreuliches Zeichen für die Bereitwilligkeit zu gemeinsamer wissenschaftlicher Arbeit hervorgehoben zu werden, daß das korrespondierende Mitglied der Gesellschaft, Dr. Filippo de Filippi (Florenz) sich über diese Verrufserklärung hinweggesetzt und in deutscher Sprache einen Vortrag über seine Wissenschaftliche Expedition durch Baltistan, Ladak und Ost-Turkestan während der Jahre 1913 und 1914

gehalten hat. Die italienische Regierung und mehrere wissenschaftliche Institute ermöglichten durch ihre Unterstützung die Durchführung des von dem Vortragenden ausgearbeiteten Arbeitsplanes.

Es handelte sich um die Untersuchung jenes ebenso interessanten wie schwer zugänglichen Gebietes, in welchem der nördliche Ausläufer von Britisch-Indien an den westlichsten Teil des Chinesischen Reiches grenzt. Hier strahlen von dem Gebirgsknoten des Pamir, der den südlichsten, zwischen Afghanistan und China vorgeschobenen Zipfel von Russisch-Asien darstellt, gewaltige Gebirgssysteme nach Südosten aus, die sich in ihrem weiteren Verlauf fächerförmig ausbreiten und unter den Namen Himalaya, Transhimalaya, Karakorum und Kwen-luen als höchste Gebirge der Erde bekannt sind. Diese Ketten bilden stellenweise die Wasserscheide zwischen den peripheren, nach dem Ozean entwässernden und den zentralen, im gewöhnlichen Sprachgebrauch als abflußlos bezeichneten Teilen von Zentralasien. Der Bau der Gebirgsfalten ist noch sehr wenig erforscht, wenigleich namentlich indische, russische und englische Reisende, vor allem aber der Schwede *Sven von Hedin*, sich außerordentliche Verdienste um ihre Erforschung erworben haben. Die italienische Expedition begnügte sich nicht mit rein geographischen Arbeiten alten Stils, sondern hatte auch die modernen Methoden geophysikalischer Untersuchungen, wie Bestimmungen der Schwerkraft und des Erdmagnetismus, meteorologische Messungen, insbesondere solche der Intensität der Sonnenstrahlung, sowie aerologische Untersuchungen der höheren Atmosphärenschichten mit Hilfe von Pilot- und Registrierballonen in ihr Programm aufgenommen. Dazu kamen geologische, anthropologische und ethnologische Arbeiten. Für die astronomischen Messungen leistete ein Empfangsapparat für funkentelegraphische Nachrichten wichtige Dienste, da er die in Lahore abgegebenen Zeitsignale aufzunehmen gestattete.

Die Expedition umfaßte 11 Europäer, unter denen sich hervorragende Fachgelehrte befanden, und erfreute sich der tatkräftigen Unterstützung der britisch-indischen Regierung und des Maharadscha von Kaschmir. Im September 1913 erfolgte der Aufbruch von Srinagar (1595 m) in Kaschmir und man gelangte nach Durchquerung der nordwestlichsten Ketten des Himalayagebirges in die nördlich von Kaschmir gelegene Landschaft Baltistan oder Klein-Tibet, dessen Hauptstadt Skardo (2345 m) am oberen Laufe des Indus gelegen ist, kurz vor der Stelle, an welcher dessen nach NW gerichteter Lauf nach Westen umbiegt, um später südwärts zu strömen. Baltistan ist ein so armes Land, daß ein Teil der männlichen Bevölkerung zu periodischer Auswanderung gezwungen ist, aber die Bewohner sind trotzdem fröhliche Menschen. Von Skardo aus wurden Vorstöße in die Gletscherregion am Südrhang der Mustagkette des Karakoramgebirges ausgeführt, die in dem 8611 m hohen Dapsang (auch K<sub>2</sub> oder Pik Godwin Austin genannt), dem zweithöchsten Berg der Erde, kulminiert. Mitten im Winter ging es dann, an und z. T. auf dem gefrorenen Indus talaufwärts nach Leh (3510 m), der Hauptstadt der Landschaft Ladak, und von dort im Mai 1914 nordwärts bis in die Nähe des Karakorampasses. Südlich von diesem liegt die Dapsangebene, auf deren Einöde in 5360 m Höhe das Zeltlager aufgeschlagen wurde, das bis zum August als Standquartier diente. Hier gelang es, eine Basismessung auszuführen, die für topographische Aufnahmen und kartographische Arbeiten als Grundlage diente.

Der östliche Ausläufer des sich von Dapsang bis



In diese Gegend erstreckenden Gletschergebietes ist der Rimugletscher, dessen drei Arme gründlich untersucht wurden. Sein Ende ist in Kegel von sogenanntem Zackenfirn aufgelöst, die in steilen Spitzen bis 30 m Höhe emporragen. Es ließ sich feststellen, daß dem Nordarme des Gletschers der nach Norden dem Tarim zufließende Jarkent-darja entströmt, während der Hauptarm die Quelle des Shyok, eines rechten Nebenflusses des Indus, bildet. Hier liegt also, in etwa  $35\frac{1}{2}^{\circ}$  Nord und  $77\frac{1}{2}^{\circ}$  Ost eine wichtige Wasserscheide zwischen dem Indischen Ozean und dem abflußlosen Wüstengebiet von Ost-Turkestan.

Am 16. August traf die Nachricht vom Ausbruch des Krieges ein, und nun erfolgte der Abmarsch nach Norden über den Karakorampaß (5670 m) und die westlichen Ketten des Kwen-lun-Gebirges nach dem chinesischen Ost-Turkestan und längs des Nordabhanges von dessen Randgebirgen über Jarkend und Kaschgar, von wo in westlicher Richtung über den 4050 m hohen Terekpaß in Osch (1320 m) die Niederung des russischen Ferghanabeckens und am 7. November der Anschluß an dessen Eisenbahnlinie erreicht wurde.

Prächtige Lichtbilder gaben eine anschauliche Vorstellung von der majestätischen Hochgebirgswelt sowie von der offenbar erst in letzter Zeit neu belebten Erosionstätigkeit des Jarkentflusses, die sich aus den schluchtartigen Einschnitten in den alten Talboden erkennen läßt.

Mehr als 12 000 qkm bisher größtenteils unbekannten Gebietes konnten kartographisch aufgenommen werden. Von den Ergebnissen der Expedition befinden sich bereits die beiden Bände über Geodäsie und Glaziologie im Druck, während an den übrigen des auf 11 Bände veranschlagten Werkes noch gearbeitet wird.

In der Fachsitzung am 19. Juni 1922 hielt Professor W. Vogel (Berlin) einen Vortrag über den **Begriff des Naturgebietes in seiner Anwendung auf die politische Geographie**. Zwei staatenbildende Prinzipien lassen sich oft schwer vereinigen, nämlich das Bestreben nach Schaffung von Nationalitätenstaaten und dasjenige nach der Ausfüllung natürlicher Gebiete oder der Erfüllung natürlicher Aufgaben. So ist es z. B. die Bestimmung von Triest als Seehafen für Österreich zu dienen, während es andererseits von Italienern bewohnt ist. Durch die jetzige Zugehörigkeit zu Italien wird es von dem ihm zugehörigen Hinterlande abgetrennt. Bei der Frage nach dem Wesen des Staates muß man unterscheiden zwischen der Gemeinschaft der Menschen selber, die man als Staatssubstanz bezeichnen kann, und dem Grund und Boden, der Staatsunterlage. Der Vortragende stellte dann den Begriff der Verkehrsleitbarkeit auf, der sich sowohl auf den Boden (Wüsten, Wälder, Gebirge, Flüsse, Seen usw.) als auch auf den Menschen (Sprache als wichtigstes geistiges Bindemittel, Sitte, Religion, Temperament usw.) anwenden läßt. So war z. B. im alten Österreich mit seinen verschiedenen Nationalitäten die Verkehrsleitbarkeit der Staatsunterlage gut, die der Staatssubstanz aber schlecht. Der Begriff der natürlichen Landschaft oder des Naturgebietes ist bisher ohne Beziehung zur politischen Geographie betrachtet worden. Der Vortragende würdigte die Entwicklung dieses Begriffes, der zuerst von Alexander von Humboldt tiefer begründet, von Carl Ritter in teleologischem Sinne gefaßt und von Hölzel, Ratzel, Hettner, Hassinger, Kjellén und Passarge unter verschiedenen Gesichtspunkten dargestellt wurde.

Vogel unterscheidet scharf zwei verschiedene Auffassungen der Naturgebiete: 1. Ohne Rücksicht auf die

Zwecke des Menschen als Charakterlandschaft, ähnlich den Anschauungen von Humboldt und Passarge. In diesem Sinne hat es einen, lediglich von der Natur bestimmten einheitlichen Charakter, wie z. B. der Harz, die oberrheinische Tiefebene. Auch vom Menschen geschaffene Kulturlandschaften, wie Industriebezirke, Großstädte usw., gehören hierher. Charakterlandschaften von großer Ausdehnung sind als Charakterregionen zu bezeichnen. 2. Vom Menschen als Einheit empfundene Zwecklandschaften, von denen sich zwei Typen erkennen lassen: a) Die wirtschaftsharmonische Landschaft entsteht zumeist aus der Vereinigung mehrerer Charakterlandschaften, die sich gegenseitig ergänzen, wie etwa eine Fruchtebene in Wechselbeziehung treten kann mit einer Gebirgslandschaft, die ihr Holz, Wild usw. liefert und den Herden Gelegenheit zu Wanderungen gibt. Derartige Ergänzungen finden sich z. B. bei Neckartal und Schwäbischer Alb, Leipziger Bucht und Erzgebirge. Die Regierungsgewalten pflegen solche harmonischen Verbindungen, die bis zur Autarkie (Selbstgenügsamkeit) gesteigert werden können, zu begünstigen. b) Die strategisch-kommerzielle Landschaft wird bestimmt durch die Zwecke des Verkehrs. Maßgebend ist hier die gute Verkehrsleitbarkeit innerhalb des Gebietes und ein gewisser Abschluß nach außen. Beide Zwecklandschaften, für die Böhmen ein typisches Beispiel ist, sind natürlichen Änderungen im Laufe der Geschichte ausgesetzt; insbesondere spielt die Entwicklung der Eisenbahnen eine große Rolle.

Diese Landschaftstypen schilderte der Vortragende dann ausführlicher an einzelnen Beispielen. Er wies darauf hin, daß schon die geologische Karte Frankreichs fünf verschiedene Charakterlandschaften deutlich erkennen läßt, einerseits das nordfranzösische Garonne- und Rhônebecken, andererseits das Zentralplateau und die Bretagne. Gleichzeitig verkörpern sie aber auch den Typus der kommerziellen Zwecklandschaften. Insbesondere gilt dies für die drei Beckenlandschaften, deren politische Einteilung als Provincia Lugdunensis, Aquitania und Romana schon zur Römerzeit damit in Einklang stand. Die französische Nationalität hat die einzelnen Teile zu einem Ganzen zusammengeschweißt und die französischen Könige haben bewußt die Schaffung einer strategischen Einheit angestrebt.

In Deutschland haben sich als große strategisch-kommerzielle Landschaften heraus die großen Schiffsverkehrssysteme des Rheins, der Donau und der norddeutschen Ströme (Elbe, Oder, Weichsel), die Vogel unter der Bezeichnung „Norddeutsches Urstromland“ zusammenfaßt. Diesen positiven Faktoren stehen als negative die Alpen und die mitteldeutsche Gebirgsschwelle gegenüber, die das Rheingebiet in das ober- und niederrheinische Becken teilt. Letzteres, zu dem auch die Niederlande gehören, zeigt drei Hauptcharakterlandschaften, Marsch, Geest und Bördenzone, während es klimatisch ziemlich einheitlich ist. Das niederrheinische Becken ist das alte Stammland der Franken, und die frühere politische Einheit kommt auch dadurch zum Ausdruck, daß die alte Erzdiözese Köln fast das ganze Gebiet umfaßte. Die nationale Trennung ist auf französisch-burgundische Einflüsse zurückzuführen. Wie das niederrheinische Becken das Land der Franken, so war das oberrheinische ursprünglich fast im vollen Umfang der politische Herrschaftsbereich der Alemannen. Die scharf trennende Wirkung der Mittelgebirgsschwelle zeigt sich noch im Mittelalter in der vollständig getrennten Entwicklung der oberdeutschen und niederdeutschen Städtevereinigungen. Weitere geschlossene Landschaftsgebiete sind das Donauland, Böhmen, als Übergangsgebiete in der Mittel-



gebirgs- und Alpenschwelle Thüringen, Hessen, die Schweiz, Tirol usw.

In der Sitzung am 9. Juli 1922 hielt Dr. E. Stresemann einen Vortrag mit Lichtbildern über eine Forschungsreise nach den Südmolukken, welche die zweite Freiburger Molukkenexpedition (1910—1912) unter der Leitung des im Weltkriege gefallenen Geologen, Professor Deninger, ausgeführt hatte. Der Vortragende hatte als Zoologe an dieser Expedition teilgenommen. Der Reiseweg führte 1910 nach Singapur, von wo aus, gewissermaßen als Probeexpedition, ein Vorstoß in das Innere der Halbinsel Malakka unternommen wurde zwecks Untersuchung der Sakaï, einer Urbevölkerung, die ein unstetes Jägerleben führt, in primitiven Hütten wohnt und nur das Blasrohr als Waffe verwendet. Nach einem Besuch der wegen ihres Zinnvorkommens berühmten, vor der Ostküste Sumatras gelegenen Insel Bangka und einem dreimonatlichen Aufenthalt auf der, die östliche Fortsetzung Javas bildenden Insel Bali erreichte die Expedition nach Durchquerung der Sunda-, Flores- und Bandasee im April 1911 die südlichen Molukken.

Diese Inselgruppe trägt mit Recht auch den Namen Gewürzinseln, denn seit dem 15. Jahrhundert bildete sie wegen ihres Reichtums an wertvollen Gewürzen, insbesondere der Muskatnuß und der Gewürznelke, das Ziel der Begehrlichkeit verschiedener Nationen. Nach den Arabern kamen in der ersten Hälfte des 15. Jahrhunderts die Portugiesen dorthin, die jedoch zu Beginn des 17. Jahrhunderts den Holländern weichen mußten. Diese zogen einen ungeheuren Gewinn aus den Inseln, bis in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts der Verfall einsetzte. Die Gewürze sanken im Preise und gleichzeitig verloren die Holländer das Handelsmonopol. Die Inseln wurden ein Stiefkind der holländischen Kolonialverwaltung, und die Bevölkerung der Inseln, die Holland einst reich gemacht haben, ist heute gänzlich verarmt.

Die Expedition hatte sich die naturwissenschaftliche Erforschung der beiden südlichen Hauptinseln, Ceram und Boeroe, zur Aufgabe gestellt. Die größere der beiden, Ceram (Serang), ist wenig bekannt, da die früheren Reisenden sich meist auf die Küste beschränkt hatten. Es galt daher auch die hohen Gebirge des Innern zu erforschen, die hauptsächlich aus stark gefaltetem obertriadischem Massenkalk bestehen. Im Westen überwiegen kristalline Schiefer und Phyllite, im Osten obertriadische Sandsteine und Schiefer. Eruptivgesteine spielen eine untergeordnete Rolle<sup>1)</sup>. Von Waihai, dem bedeutendsten Hafen der Nordküste (129½° Ost), drang man in das Innere vor. An der Küste herrschen Kokospalmen, Mangroven und Sagopalmen vor. Gehobene Korallenriffe fanden sich bis zu 60 m über dem Meere. Die Hütten der eingeborenen Alfuren bestehen aus einem auf Pfählen errichteten Wohnraum, dessen tief herabreichendes Dach mit Blättern der Sagopalme bedeckt ist. Nägel werden beim Hausbau nicht verwendet, sondern alles durch Bindung zusammengefügt. Neben Neuguinea ist Ceram das Hauptproduktionsgebiet für Sago. Das rohe Mark der Sagopalme wird durch Netze gepreßt, mit Wasser angerührt, der abgesetzte Sago getrocknet und in Blätterbündeln verpackt. Die Tierwelt zeigt Verwandtschaft mit Neuguinea. Unter den Vögeln fallen

Kasuar, Großfußhuhn, Nashornvogel und Papageien auf. In den Niederungen kommen neben dem tropischen Regenwalde ausgedehnte mit Alangalang bestandene Wiesenflächen vor. Neben der Sagopalme ist die Zuckerpalme, aus der ein berauschendes Getränk gebraut wird, die wichtigste Pflanze. Mächtige Bambushaine kommen vielfach vor. In Höhen von 1200 m an werden die Bäume niedriger. Die Häuser sind hier besser gegen die nächtliche Abkühlung (Lufttemperatur bis 13° sinkend) geschützt. Aus der sehr hochgewachsenen Konifere Damara alba wird Harz gewonnen. In 2400 m, wo die Temperatur schon bis 5° sinkt, kommen Baumfarne vor, die in 2900 m Rhododendronbüschen Platz machen. Darüber breitet sich alpine Grasflur aus. Den auf einem Grat gelegenen Gipfel Pinaia (3010 m) erstiegen die Reisenden als erste Europäer. Es ist der höchste Berg der Molukken überhaupt, doch wurde seine Höhe bis dahin beträchtlich unterschätzt. In den Hochregionen sieht man deutliche Wege, die von Hirschen ausgetreten sind. Vielfach wird das Landschaftsbild von den weißen Stämmen abgestorbener Koniferen beherrscht, deren Eingehen nicht aufgeklärt werden konnte. Im großen und ganzen zeigen Flora und Fauna viele Anklänge an Neuguinea und Celebes.

Nach neunmonatigem Aufenthalt auf Ceram wandten sich die Reisenden der westlich gelegenen, kleineren Insel Boeroe (Burn) zu, die durch eine mehrere tausend Meter tiefe Meeresstraße von Ceram getrennt ist. Der Besteigung der noch nie von Menschen betretenen höchsten Erhebung, des Kapalo Madang oder Fogha (2050 m), die am 28. Februar 1912 gelang, stellten sich die größten Hindernisse entgegen. Er besteht, wie der Pinaigipfel, aus Massenkalken der obersten Trias, welcher durch Verwitterung in spitze Zacken und messerscharfe Grate aufgelöst ist. Auch hier kommen, wie am Pinaia, Rhododendren vor, und bis 1950 m Höhe fand man Spuren von Hirschen. Die Inseln sind nur spärlich bewohnt, da die Gewaltmaßregeln der Ostindischen Kompanie sowie verheerende Seuchen entvölkernd gewirkt haben. Die Sprache der tabakbraunen Alfuren gehört dem malaiisch-polynesischen Sprachstamm an, doch zeigt sich eine Abweichung gegen die Dialekte der Nordmolukken, wie überhaupt zahlreiche Dialektverschiedenheiten festgestellt werden konnten. In den jüngeren malayo-polynesischen Einwanderern scheint eine ältere, kraushaarige und dunkelhäutige Bevölkerung von kleinerem Wuchs größtenteils aufgegangen zu sein. Reste erhielten sich in Mittel- und Ostceram.

Zahlreiche Lichtbilder veranschaulichten viele Einzelheiten und ergänzten die vorhergegangenen Ausführungen. In Westceram herrscht das Einfamilienhaus vor, während in Mittelceram auch große Häuser für mehrere Familien gebaut werden, die oft bis 100 Personen beherbergen. Stinkdrüsen des Beuteltieres gelten als Parfüm und werden von den Frauen an Schnüren um den Hals getragen. Als Kriegswaffe dient auf Ceram Pfeil und Bogen, der auf Boeroe unbekannt ist und durch die Lanze ersetzt wird. Im Nahkampf gelangen Buschmesser und langer schmaler Schild zur Verwendung. In Westceram wohnen kriegerische Stämme, die noch heute auf Kopfgjärei ausziehen. Als Jagdwild kommen namentlich Hirsche und Schweine, auf Boeroe auch noch ein weißbehaarter Hirscheber in Betracht. Ceram bildet die Westgrenze für das Vorkommen des Kasuars. Sowohl diese Straußenart als auch Schweine werden zwar als Haustiere gefangen gehalten, aber nicht gezüchtet.

<sup>1)</sup> Vgl. Morphologische Übersicht der Insel Serang. Von Karl Deninger. Petermanns Mitteilungen, Gotha 1914, Jahrg. 60, II. Teil, S. 16—18. Mit Übersichtskarte 1 : 500 000.



Zum Schluß zeigte der Vortragende noch einige Lichtbilder von der kleinen Sundainsel Bali, die größtenteils vulkanischer Natur ist und in dem 3100 m hohen Krater des Gunong Agoeng gipfelt. Hier findet sich keine europäische, sondern vorderindische Kultur. Bali ist ein reiches Land, dessen eingeborene Fürsten Millionäre sind. Der Luxus verbleibt jedoch im Rahmen der heimischen Kultur und nimmt keine europäischen Formen an. Die Quellen des Reichtums sind Viehzucht und Reisbau. Letzterer wird in terrasierten Anlagen bis zur Höhe von 1000 m betrieben. Nur im Westen der Insel und im Gebirge oberhalb 1000 m findet sich unberührter Urwald. O. B.

## Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

Die letzten Jahresberichte des American Museum of Natural History. Der Bericht von 1919, der 51., beginnt mit einem Ausblicke auf die Aufgaben des Museums in den nächsten fünfzig Jahren. Im Vordergrund steht das schon in der Gründungsurkunde aufgestellte Ziel, neben der Sammlung einschlägiger Gegenstände und Druckwerke namentlich auch der *naturwissenschaftlichen Volkserziehung* zu dienen. Soviel auf diesem Wege schon erreicht ist, hegt die Museumsleitung augenblicklich Bedenken, daß die Entwicklung weiter eine stetige sei, ja sie besorgt, schon im Rückstande zu sein. Die Ursache liegt in den durch den Krieg hervorgerufenen Bauschwierigkeiten. Es fehlen zur Ausführung des 1913 festgesetzten Erweiterungsplanes die Mittel, so daß die Sammlungen nicht mehr wie bisher den erzieherischen Zwecken entsprechend örtlich und zeitlich naturgetreu untergebracht werden können. So muß z. B. das Mastodon und das Mammuth denselben Raum mit den Dinosauriern teilen, ein für die naturwissenschaftliche Anschauung der zum großen Teile aus Schülern zusammengesetzten Besucher bedenklicher Umstand. Diese Notlage teilt das Museum mit allen Einrichtungen auf dem Gebiete des Unterrichtswesens nicht nur der Stadt New York, sondern der ganzen Vereinigten Staaten. Sie soll in letzter Linie auf der zu geringen Wertung des Volkserziehungswesens im Vergleich mit anderen öffentlichen Angelegenheiten beruhen, die sich u. a. auch in dem glücklicherweise abgelehnten Gesetzentwurf offenbart, zu Erziehungszwecken gemachte Leistungen ebenso zu besteuern wie Aufwendungen für industrielle und Luxuszwecke. Zur Sicherstellung einer gedeihlichen Entwicklung der Volksbildung wird ein Eingriff in das Steuersystem, namentlich die Trennung der Schulsteuer von den übrigen Abgaben, gefordert, ein Vorschlag, der, wie der nächste Bericht lehrt, zwar eifrig diskutiert worden ist, aber keinen Anklang gefunden hat.

Trotz dieser Schwierigkeiten und der wachsenden Unterhaltungskosten verfolgt die Leitung doch energisch ihre Ausbaupläne, die insbesondere auf die Schaffung neuer Säle für die Neuaufstellung der jetzt unpädagogisch zur Schau gestellten Objekte und die Aufnahme neuer biologisch-geographischer Gruppen abzielt. Einen bestimmten architektonischen Ausdruck sollen diese Erweiterungsbauten durch eine an hervorragender Stelle aufgeführte, nach dem Zentralparke blickende *Roosevelt-Gedächtnishalle* erhalten, zur Erinnerung an den ehemaligen Präsidenten, der ein Freund der Natur war, weite Jagdreisen unternahm und sich selbst gern als Naturforscher bezeichnete.

Seine große Bedeutung verdankt das Museum in erster Linie den planmäßig über den ganzen Erdteil ausgedehnten *Sammelreisen*, die ihm zahlreiche Stiftungen ermöglichen und die es in die Lage versetzen, mit Leichtigkeit das Britische Museum zu überflügeln, in das die Sammelschätze sämtlicher klassischer Forschungsreisen geflossen sind. Unter diesen Reisen, von denen die eine oder andere in den „Naturwissenschaften“ gelegentlich zur Sprache gekommen ist, ragen vielleicht die polaren, wenigstens im Vergleiche mit anderen Ländern, hervor. Zwar entsprechen die Ergebnisse der „Crocker-Land-Expedition“ 1913—17 nicht den gehegten hohen Erwartungen, denn dieses von Peary flüchtig gesichtete Land existiert nicht — der Entdecker war vielmehr von einer Lichtspiegelung getäuscht worden —, doch erhielt das Museum durch die Reisen Pearys, Amundsens und anderer Forscher und durch langjährige mit Walfängern hinausziehende Sammler eine unvergleichliche Fülle von Gegenständen aus der Arktis und Antarktis, so daß es jetzt in der Lage ist, ein Gesamtbild dieser schwer zugänglichen Gegenden zu geben wie keine andere Sammlung der Erde.

Angesichts der raschen Vernichtung der australischen Tierwelt infolge der hier von altersher brutal und kurzsichtig verfahrenen Wirtschaft, erschien eine Sammelreise in den fünften Erdteil als dringendstes Bedürfnis. Sie wurde im vorigen Jahre ausgeführt, und ihre Ergebnisse konnten zum Teil schon aufgestellt werden. Gleichzeitig wurde den bisherigen vier asiatischen Expeditionen eine neue hinzugefügt, die, von Zoologen und einem Paläontologen unternommen, mit der Erforschung der Geschichte der Wirbeltiere des inneren China beauftragt ist und bereits überaus seltenes Material nach New York geschickt hat. Ferner wären zu nennen eine zur Ausbeutung berühmter Fossilagerstätten Indiens und eine zur Sammlung von Vögeln nach Polynesien ausgesandte Expedition.

Die Ergebnisse der bisherigen Reisen sind in einer Reihe grundlegender Werke niedergelegt worden, von denen z. B. das der besonders erfolgreichen zentralafrikanischen Expedition gewidmete „The Zoology of the Belgian Congo“ nicht weniger als 12 Bände umfaßt. Dazu kommen die gemeinverständlichen Veröffentlichungen aus den verschiedensten Erdregionen und Zweigen der Naturwissenschaften, Ethnologie und Vorgeschichte.

Das fortwährende Einströmen neuer Sammelobjekte aus allen Teilen der Erde erfordert planmäßigen Ausbau der Präpariermethoden und der künstlerischen Aufstellung. Auf diesem Gebiete sind namentlich in der Zurschaustellung der Säugetiere jüngst erhebliche Fortschritte gemacht worden, sowohl was Naturtreue als Haltbarkeit der Präparate anlangt.

Die *Berichte der einzelnen Abteilungen* des Museums, der geologischen, mineralogischen, der verschiedenen zoologischen und paläontologischen, der vergleichend anatomischen, anthropologischen und hygienischen führen in langen Reihen die wichtigsten neuen Eingänge und Untersuchungsergebnisse und ihre Anwendung für die Ziele des Museums an. Ihnen schließt sich die über 100 000 Bände zählende *Bibliothek* an, die gegenwärtig durch zahlreiche, früher schwer erwerbbar seltene Tafelwerke bereichert wird. Von den laufenden Veröffentlichungen ist das *Bulletin* den Feld- und Laboratoriumsarbeiten gewidmet; die *Memoirs* bringen reich mit Abbildungen versehene monographische Darstellungen zoologischen, die *Anthropological Papers* solche anthropologischen und



ethnologischen Inhaltes, während die *Novitates* vorläufige Mitteilung über die neu entdeckten Formen enthalten. Ihnen reihen sich die *Natural History*, das Journal des Museums, die in Einzelgebiete einführenden *Handbooks* und Führer an.

Der öffentliche Unterricht, bewerkstelligt durch Ausleihung von Studiensammlungen und Lichtbilderreihen an Schulen, von Büchersammlungen an Bibliotheken, durch Vorlesungen, Ergänzung des Schulunterrichtes und Blindenunterweisung, weist steigende Teilnehmerzahlen auf.

Als ein bedeutendes Ereignis bucht das Museum den Zweiten internationalen Eugenikerkongreß, der im September 1921 in seinen Mauern tagte und Vertreter der Mehrzahl der europäischen Großstaaten — mit Ausnahme Deutschlands — vereinigte. *B. Brandt.*

Die diesjährige Tagung der **Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt** fand vom 18. bis 21. Juni in Bremen statt; dabei wurden fünf Vorträge gehalten, die allgemeineres Interesse beanspruchen können: Dr. *Rohrbach* sprach über „Vergrößerung der Flugzeuge“; er stellte der früher üblichen Vergrößerungsweise, bei welcher die großen Flugzeuge mit der gleichen „Flächenbelastung“ (d. i. Gewicht geteilt durch Flügelfläche) gebaut wurden, wie die kleinen Flugzeuge, eine neue Vergrößerungsart gegenüber, bei welcher die Flächenbelastung proportional den Längenmaßen steigt. Bei dieser Bauart wird die Geschwindigkeit bedeutend größer als bei der früheren; auch in bezug auf Beweglichkeit, Böenempfindlichkeit und Wirtschaftlichkeit sind die so vergrößerten Flugzeuge den alten überlegen; man kann die Vergrößerung viel weiter treiben als bei der früheren Bauart. Den Hauptnachteil der hohen Start- und Landegeschwindigkeit kann man durch richtige Ausbildung des Fahrgestells und Anlage genügend großer Flugplätze unschädlich machen. Dr. *Rohrbach* hat die in diesem Vortrag ausgesprochenen Grundsätze schon vor einigen Jahren beim Bau des Staakener 1000-PS-Metalleindeckers benutzt und sehr befriedigende Erfolge erzielt.

Dr. *Everling* sprach über „Geschwindigkeitsgrenzen der Flugzeuge“; während man im Fluge hohe Geschwindigkeiten anstrebt, muß man beim Landen die Geschwindigkeit möglichst herunterdrücken. Das Problem, den Geschwindigkeitsbereich eines Flugzeuges zu vergrößern, ist eines der wichtigsten in der praktischen Flugtechnik. Der Vortragende zeigte die theoretischen Grenzen für die Fluggeschwindigkeit und beleuchtete an Hand einer umfangreichen Statistik das Erreichte und das heute praktisch Erreichbare; er gab auch einen Überblick über die verschiedenen Methoden, welche das an sich schnelle Flugzeug während der relativ kurzen Zeit der Landung zu kleiner Geschwindigkeit zwingen sollen; trotz höchst interessanter und vielversprechender Ansätze ist noch keine Methode bis zum vollen Erfolg vorgedrungen.

Kapt. *Boykow* sprach über „Mittel für die Navigation von Luftfahrzeugen im Nebel“; er unterschied drei Gruppen von Einrichtungen, solche, deren Träger das Luftverkehrsmittel allein ist, solche, welche lediglich der Bodenorganisation angehören, und solche, bei welchen Flugzeug und Bodenorganisation zusammenwirken. Nach kurzem Hinweis auf das gelegentliche Versagen des Kompasses im Flugzeug — über das sich nachher eine lebhafte Diskussion entspann — ging Kapt. *Boykow* sehr ausführlich auf die Verwendung des Kreisel ein und berichtete über neuere Versuche

mit einem in der Art des Kreiselkompasses aufgehängten Kreisel, bei welchem durch ein äußeres Kraftmoment die Wirkung der Erdrotation scheinbar ausgeschaltet ist. Mit Hilfe von solchen Instrumenten hofft der Vortragende ein sicheres Navigieren im Nebel auch bei unbekannten Windverhältnissen und über große Entfernungen erreichen zu können. Von dem, was Kapt. *Boykow* über Bodenorganisation mitteilte, erweckte die fabelhafte Entwicklung der Scheinwerfer in den letzten Jahren das größte Interesse, von den Einrichtungen der dritten Gruppe die funkentelegraphischen Peilungen, insbesondere die Versuche mit dem Lotsenkabel.

Dr. *R. Wagner* wies in seinem Vortrag über „die Dampfturbine im Luftfahrzeug“ auf die Möglichkeit hin, den leichten Benzinmotor durch eine Dampfanlage zu ersetzen; er zeigte insbesondere die Möglichkeiten auf, wie die Schwierigkeiten des höheren Maschinengewichtes, des größeren Brennstoffverbrauchs und des bedeutenden Kondensatorwiderstandes überwunden werden können, und hob die erhöhte Betriebssicherheit, die relative Billigkeit des Betriebsstoffes, die Möglichkeit relativ großer Leistungseinheiten als Vorteile hervor. Da die Leistung der Dampfturbine nicht wie die des Benzinmotors bei kleiner Luftdichte bedeutend nachläßt, wären vor allem für die Steigfähigkeit der Luftfahrzeuge Vorteile von dieser neuen Betriebsart zu erwarten.

Schließlich sprach Prof. *v. Kármán* über „das Schraubenflugzeug“, besonders über seine eigene Konstruktion, die einzige — außer etwa solchen in England, von denen die Presse neuerdings berichtete —, welche wirklich geflogen ist. Die theoretische Grenze für die Hubkraft einer Schraube wurde bei den bisherigen Versuchen zu 82 % erreicht; die Stabilität der freifliegenden Schraube ist noch ein ungelöstes Problem, während der Schraubenfesselflieger bei richtiger Fesselung stabil gemacht werden und als Ersatz für den Fesselballon dienen kann. Ein einfaches Modell, welches Prof. *v. Kármán* vorführte, ließ diese Verhältnisse schön erkennen. Eine Hauptschwierigkeit für die praktische Benutzung des Schraubenflugzeuges liegt in dem relativ geringen Gleitvermögen; damit beim Aussetzen des Motors der Apparat nicht allzu hart herabfällt, muß ein Fallschirm oder eine ähnliche Vorrichtung verwendet werden. *L. Hopf, Aachen.*

**Neue amtliche Kartenwerke.** Herausgegeben vom Reichsamt für Landesaufnahme. Berlin NW 40, Moltkestr. 2.

1. *Große Umgebungskarte von Coblenz*, 1 : 100 000. Schwarzdruck, größere Gewässer blau. Das besonders große Blatt umfaßt das Gebiet zwischen Honnef, Limburg, Bingen und Daun. Ladenpreis M. 12,—.
2. *Karte der Umgebung von München-Gladbach*, 1 : 25 000. Schwarzer Zusammendruck aus sechs Meßtischblättern. Ladenpreis M. 14,40.
3. *Karte der Schlacht bei Tannenberg*, 1 : 100 000. Mit farbiger Angabe der Truppenstellungen, kurzer Schilderung der Schlacht und einem Geleitwort des Generalfeldmarschalls von Hindenburg. Ladenpreis M. 18,—.
4. *Karte des Kreises Usedom-Wollin*, 1 : 100 000. Schwarzdruck, größere Gewässer blau. Ladenpreis M. 7,80.
5. *Karte der Kreise Bielefeld, Greifswald, Guben, Pr. Eylau*, 1 : 100 000.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W9.

Heft 35. (Seite 751—774)

1. September 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie. Von *C. Pulfrich*, Jena. (Schluß.) S. 751.

Über die Rolle von Kern und Plasma bei der Embryonalentwicklung. Von *Andreas Penner*, Würzburg. (Schluß.) S. 761.

Der Menschenfuß. (Weidenreich, Zeitschrift für Morphologie u. Anthropologie.) Von *W. Lubosch*. S. 765.

### Besprechungen:

Trautz, Max, Lehrbuch der Chemie. Von *I. Kopp*, Berlin-Pankow. S. 769.

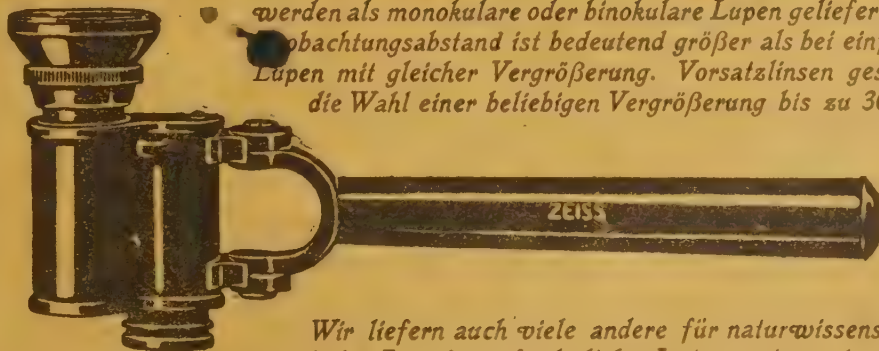
### Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Zellentartung und Entwicklungsbeschleunigung. Von *S. Gutherz*. S. 773.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten. S. 773-774.  
Zur Geschichte des optischen Glases. Über das Plankton schlesischer Talsperren. Iontentheorie der Reizung des Gehörorgans.

# ZEISS

## Fernrohr-Lupen



werden als monokulare oder binokulare Lupen geliefert. Der Beobachtungsabstand ist bedeutend größer als bei einfachen Lupen mit gleicher Vergrößerung. Vorsatzlinsen gestatten die Wahl einer beliebigen Vergrößerung bis zu 30 fach.

Wir liefern auch viele andere für naturwissenschaftliche Zwecke erforderliche Instrumente, wie Mikroskope, Einschlaglupen usw.

Druckschriften und  
Auskunft durch:

## CARL ZEISS, JENA

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 100.— für das dritte Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 9.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 9.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 2020 Julius Springer,  
Postcheck- für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118 935 Julius  
Konten: Springer.

## Voigt & Hochgesang Göttingen

Fabrik f. Dünnschliffe,  
Kristallpräparate von  
eigenem, sowie von  
geliefertem Material.

(260)

Schul- und Studiensammlungen von ersten  
Fachleuten der Wissenschaft zusammengestellt.  
Kataloge stehen kostenfrei zur Verfügung.

## Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu kaufen gesucht. Angebote unter  
Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

## Mineralien, Kristalle und Gesteine

einzelnen und in ganzen Sammlungen.

Spez.: Vogtl. u. sächs. Vorkommen, sowie Graptolithen  
offeriert preiswert und in reicher Auswahl

### Mineralien-Niederlage A. Jahn

Plauen i. V., Oberer Graben 9 (259)

Die Anschaffung des (258)

### Handwörterbuchs der Naturwissenschaften

10 Bände in Halbleder 6000 M., Auslandspreis 18000 M.  
erleichtert durch Verteilung des Betrages  
auf mehrere Jahre oder Amortisation in 10%  
Monatsraten. Das Werk wird sofort voll-  
ständig geliefert.

**H. Meusser, Buchhandlung**  
Berlin W 57/9, Potsdamer Straße 75.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Soeben erscheint:

# Grundlegende Operationen der Farbenchemie

Von

**Dr. Hans Eduard Fierz-David**

Professor an der eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich

Zweite, verbesserte Auflage

Mit 46 Textabbildungen und einer Tafel (XIV, 266 S.)

In Ganzleinen gebunden Preis M. 300.—

#### Inhaltsübersicht:

I. Zwischenprodukte. Allgemeines über Zwischenprodukte. 1. Sulfurierungen. 2. Nitrierungen und Reduktionen. 3. Chlorierungen. 4. Oxydationen. 5. Kondensationen. — II. Farbstoffe. 6. Azofarbstoffe. 7. Triphenylmethanfarbstoffe. 8. Schwefelschmelzen. 9. Verschiedene Farbstoffe. 10. Zusammenstellung der wichtigsten Methoden. — III. Technische Angaben. 11. Über die Vakuumdestillation im Laboratorium und im Betriebe. 12. Über die Konstruktion und die Verwendung von Autoklaven. 13. Konstruktionsmaterialien der Farbenchemie. 14. Technische Angaben über den Fabrikbetrieb. 15. Beispiele der Berechnung eines einfachen Azofarbstoffes. — IV. Analytischer Teil. 16. Analytisches. Namenverzeichnis. Sachverzeichnis.



## Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie<sup>1)</sup>.

Von C. Pulfrich, Jena.

(Schluß.)

### 24. Verlauf der Erscheinung beim Vergleich einer Farbe mit den übrigen Teilen des Spektrums einer Petroleumlampe.

Nach erfolgter Regulierung der Beleuchtung stellen wir den einen Spektralapparat, z. B. den linken, auf einen beliebig gewählten Spektralbezirk, beispielsweise auf die im Grün liegende Wellenlänge  $540\mu\mu$ , ein und durchwandern jetzt mit dem rechten Apparat, im äußersten Blau beginnend, das ganze Spektrum. Wir machen auf diesem Wege an den einzelnen Stellen des Spektrums Halt und sehen zu, wie sich die kreisende Marke an dieser Stelle verhält.

Wir erhalten dann das in Fig. 29 veranschaulichte Resultat:

Im blauen Teile beobachten wir eine starke Linksdrehung der Marke. Sie wird mit der Annäherung des rechten Auges an unser obiges Grün, auf das das linke Auge dauernd eingestellt ist, immer geringer, an dieser Stelle geradlinig und geht gleich dahinter in eine Rechtsdrehung über, die am stärksten ist, wenn das rechte Auge gelb erhält. Von hier aus nimmt die Rechtsdrehung wieder ab, wird bei einer bestimmten Stelle im Rot — bei  $650\mu\mu$  — wieder geradlinig, um dann gleich hinterher in eine mit dem Vorwärtsschritt nach dem roten Ende des Spektrums immer stärker werdende Linksdrehung überzugehen.

Hat man den rechten Apparat auf den gleichen Spektralbezirk im Grün eingestellt, auf den vorher der linke Apparat eingestellt war, und durchwandert jetzt mit dem linken Apparat das Spektrum, so kehrt sich in Fig. 29 nur die Pfeilrichtung um. Die Stellen, wo Geradlinigkeit der Bewegung beobachtet wird, bleiben die gleichen wie vorher.

Es ist in hohem Maße bezeichnend für unser Verfahren, daß fast jeder Beobachter, dem man den Verlauf der Erscheinung zum erstenmal zeigt, auf den Wechsel und die Verschiedenheit der Farben links und rechts kaum achtet. Seine Aufmerksamkeit wird ausschließlich von der im Raum sich drehenden Marke in Anspruch genommen. Auch eine Beeinträchtigung der Einstellungsgenauigkeit durch die Verschiedenheit der Farben

habe ich bisher noch bei keinem Beobachter feststellen können. Ein Beobachter hat mir sogar in allem Ernst erklärt, er glaube besser einstellen zu können, wenn die Farben links und rechts verschieden sind, als bei gleichen Farben. Vielleicht ist das etwas zu viel gesagt. Aber die Bemerkung bezeichnet mehr als alles andere den großen Fortschritt, den die stereophotometrische Methode in der Überwindung der Schwierigkeiten aufzuweisen hat, die bisher allen in Vorschlag gebrachten Methoden der heterochromen Photometrie hindernd im Wege standen.

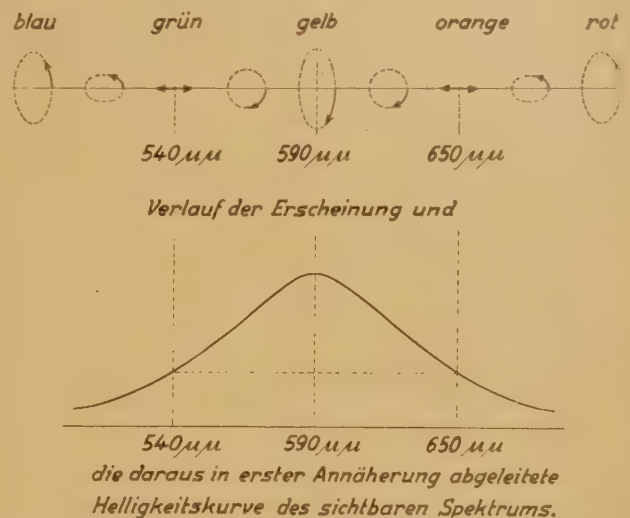


Fig. 29. Die im Spektrum der Petroleumlampe beobachtete Erscheinung der kreisenden Marke.

Nach dem beschriebenen Verlauf der Erscheinung können wir also jetzt allein auf Grund unserer Definition der Gleichheit heterochromer Helligkeiten (siehe Abschnitt 11), ohne vorher irgend etwas über die Helligkeitsverteilung im sichtbaren Spektrum zu wissen, darüber folgendes aussagen:

1. Die beiden Spektralbezirke im Rot und Grün, bei denen das Raumbild der Marke geradlinig hin und her geht, haben gleiche Helligkeit.
2. Von diesen Stellen aus nimmt die Helligkeit nach den Enden des Spektrums gleichmäßig ab und nach der Mitte des Spektrums zu.
3. Das Maximum der Helligkeit liegt im Gelb.

In erster Annäherung kann also der Helligkeitsverlauf im sichtbaren Spektrum der Petroleumlampe durch die in Fig. 29 gezeichnete Kurve wiedergegeben werden.

Wir können aber sofort noch einen Schritt weiter gehen, indem wir nämlich in unserem

<sup>1)</sup> Im Auszug vorgetragen auf dem Physikertag in Jena am 21. September 1921.

obigen Versuch den linken Apparat, statt auf 540  $\mu$ , auf 550  $\mu$ , 560  $\mu$  . . . einstellen, also auf Stellen des Spektrums, die dem Helligkeitsmaximum näher liegen und dann jedesmal in dem anderen Apparat auf der anderen Seite des Helligkeitsmaximums die gleichhellen Stellen aufsuchen und deren Wellenlänge an der  $\mu$ -Skala ablesen. Wir werden finden, daß in demselben Maße, wie der auf der blauen Seite des Maximums gelegene Spektralbezirk dem Maximum näherrückt, dies auch der mit ihm gleichhelle Spektralbezirk auf der roten Seite des Maximums tut. So rücken die beiden gleichhellen Stellen des Spektrums einander immer näher, und man kann die Lage des Maximums ohne weiteres aus der graphischen Eintragung der gefundenen Werte entnehmen. Für unsere Petroleumlampe ergab sich auf diese Weise die Lage des Helligkeitsmaximums zu 590  $\mu$ . Für zerstreutes Tageslicht, an einem Wintertag gegen Norden beobachtet, wurde das Helligkeitsmaximum bei 570  $\mu$  gefunden. Die Zahlen bedürfen einer Reduktion auf das Normalspektrum. Hierüber siehe weiter unten. Daß man es wirklich mit dem Maximum zu tun hat, läßt sich in der Weise nachweisen, daß man beispielsweise den linken Apparat auf die für das Maximum gefundene Wellenlänge einstellt. Man wird dann in dem Spektrum des anderen Apparates nur eine Stelle finden, nämlich die des Maximums, wo das Raumbild der Marke sich geradlinig bewegt. Vor und hinter dieser Stelle dreht sich die Marke in gleichem Sinne, nämlich links herum und immer stärker, je weiter wir uns vom Maximum entfernen.

25. Was tritt ein, wenn man mit dem einen Auge die Grenzen des sichtbaren Spektrums überschreitet?

Unsere vorstehende Beschreibung des Verlaufs der kreisenden Marke innerhalb des sichtbaren Spektrums würde unvollständig bleiben, wenn wir die Vorgänge, die sich an den äußersten Enden des sichtbaren Spektrums und darüber hinaus abspielen, gänzlich unerörtert lassen wollten. Gewiß wird der Ausschlag der kreisenden Marke (siehe Fig. 29) mit der Annäherung an die Enden des Spektrums immer größer. Schließlich aber muß man an eine Stelle kommen, wo die von der Lichtquelle ausgesandten Strahlen aufhören, im Sinne einer Gesichtswahrnehmung wirksam zu sein. Alsdann sieht man die hin und her gehende Marke nur noch mit einem Auge, und von einem beidäugig wahrgenommenen Raumbild kann keine Rede mehr sein.

So verlockend es auch sein mag, in eine *Spezialuntersuchung* darüber einzutreten, wo diese Stellen für Spektren verschiedener Art und für verschiedene Personen gelegen sind, möchte ich mich hier auf einige Bemerkungen beschränken, die in methodischer Hinsicht für eine spätere

Untersuchung nach dieser Richtung mir der Beachtung wert erscheinen.

Gewiß muß in dem Augenblick, in dem das eine Auge aufhört, die bewegte Marke zu sehen, der eigentliche Stereoeffekt der kreisenden Marke verschwinden. Aber damit ist nicht gesagt, daß der Beobachter die geradlinige Bewegung der Marke auf Grund der nur einäugigen Beobachtung auch geradlinig beurteilt. Denn legen wir durch das Auge und den von der Markenspitze zurückgelegten geraden Weg eine Ebene, so hat die Phantasie des Beobachters freien Spielraum, die Markenspitze *in dieser Ebene* nach Belieben auf geraden oder krummen Wegen rechtsläufig oder linksläufig hin und her wandern zu lassen, ohne daß sich an dem direkten Anblick der bewegten Marke irgend etwas ändert. Eine bestimmte Vorstellung wird natürlich vorherrschend sein, und zwar diejenige, die durch die mehr oder weniger lebhaftere Erinnerung an einen wiederholt vorher beobachteten Bewegungsvorgang erzeugt wird. Eine so erzeugte Vorstellung kann natürlich auch wechseln. Das ist mit vielen Dingen so, wobei es gar keinen Unterschied macht, ob man einen Gegenstand mit einem Auge oder vollkommen identische Bilder desselben Gegenstandes mit beiden Augen betrachtet. Ich erinnere nur an die bekannten Bewegungstäuschungen, denen man beim Anblick der sich drehenden Flügel einer entfernten Windmühle in bezug auf den Sinn der Drehung ausgesetzt ist, je nachdem man die Vorstellung hat, daß man sich vor den Flügeln oder dahinter befindet. Ich erinnere ferner an die bei der Betrachtung von Bildern körperlicher Gegenstände durch Beleuchtung der Bilder in entgegengesetzter Richtung hervorgerufenen Gestaltstäuschungen, die z. B. die Krater auf Mondphotographien oder die Granatlöcher auf Fliegerbildern als Blasen erscheinen lassen. So ist mir auch wiederholt entgegengehalten worden, daß die in der Prüfungstafel (1908) für stereoskopisches Sehen befindlichen Marken, von denen der „Schlüssel“ angibt, daß sie in genau der gleichen Entfernung mit dem danebenstehenden Gegenstand gelegen sind, nicht immer in der gleichen Entfernung gesehen werden. In solchen Fällen konnte leicht nachgewiesen werden, daß der vom Beobachter angegebene Tiefenunterschied ein scheinbarer war, der nur in der Vorstellung des Beobachters besteht, aber nichts mit der durch Bilddifferenzen bedingten stereoskopischen Wahrnehmung zu tun hat. Hierbei sucht der Beobachter dann mehr oder weniger unbewußt nach anderen Anhaltspunkten für die Beurteilung der Entfernung und findet, wie im vorliegenden Falle der Prüfungstafel, einen solchen Anhalt auch in dem Umstand, daß die betreffende Marke und der neben ihr befindliche Teil des Bildes *ungleich groß* sind, wobei er die Gesetze der Perspektive, von denen der Maler bekanntlich einen ausgiebigen Gebrauch macht, mehr oder weniger unbewußt auch auf ungleichartige Gebilde ausdehnt.



Eine solche Beeinflussung unserer Vorstellung ist natürlich nur möglich, wenn die Bilder in beiden Augen *vollkommen identisch* sind. Sie tritt auch auf, wenn man im Stereokomparator der Marke im linken und rechten Okular *genau* die gleiche relative Lage zu den Bildern eines isoliert stehenden Objektes, z. B. einer Stange gibt, oder wenn man im Stereophotometer auf genaue Geradlinigkeit der Bewegung einstellt, denn dann liegen die Verhältnisse so wie in den oben angeführten Beispielen, und der Phantasie des Beobachters sind wieder Tür und Tor geöffnet.

Das ist ein Einwand, den man mit einiger Berechtigung gegen das stereoskopische Meßverfahren überhaupt erheben kann. Aber dieser Einwand trifft nur zu für den Fall, daß die Bilder links und rechts *vollkommen* gleich sind. Sobald parallaktische Bilddifferenzen vorliegen, die die Grenze des Wahrnehmbaren auch nur etwas überschreiten, ist es mit solchen Gestalts- und Bewegungstäuschungen vorbei. Der Phantasie sind wieder straffe Zügel angelegt, und an die Stelle der durch sie vorher erzeugten Vorstellung tritt jetzt die allein von den wahrgenommenen Bilddifferenzen beherrschte *eindeutige Vorstellung des Tiefenunterschiedes*, also in unserem Falle eine wirklich kreisende Bewegung des Raumbildes der Marke.

Daher erklärt es sich auch, weshalb Personen, die die letzten Feinheiten der Prüfungstafel für stereoskopisches Sehen nicht mehr zu erkennen vermögen, bei denen also die der Phantasie gezogenen Schranken weiter auseinander stehen, sehr viel leichter Täuschungen im Erfassen der richtigen Einstellung ausgesetzt sind als normal-sichtige Personen.

Für unsere vorliegende Aufgabe, die Stelle an den Enden des Spektrums zu bestimmen, wo die Lichtempfindung aufhört, machen wir aus den vorstehenden Erörterungen folgende *Nutzanwendung*. Wir vermeiden es, diese Stellen in der Richtung vom Innern des Spektrums aus nach außen aufzusuchen, da dann leicht der Fall eintritt, daß der Beobachter glaubt, die Marke noch kreisen zu sehen, wo das eine Auge schon ausgeschaltet ist. Um das zu vermeiden, stellt der Beobachter das eine Auge von vornherein auf eine *bestimmte außerhalb* des Spektrums gelegene Stelle ein und nähert sich dann langsam dem sichtbaren Teil des Spektrums. Dann wird jedenfalls der Moment, in dem das Kreisen der Marke als solches in die Erscheinung tritt, viel schärfer präzisiert sein als der Moment, in dem das Kreisen der Marke aufhört sichtbar zu sein. Das andere Auge stellt man hierbei zweckmäßig auf das Maximum der Helligkeit ein, damit das Kreisen der Marke an der gesuchten Stelle gleich in größter Stärke einsetzt. Es ist zu untersuchen, ob bei einem Wechsel des Spektralbezirkes im sichtbaren Spektrum die für das Maximum gefundenen Enden unverändert bestehen bleiben.

Ob für beide Augen des Beobachters die gleiche

Stelle gefunden wird, bedarf ebenfalls der näheren Untersuchung. Auch fragt es sich, ob die für ein Auge gefundene Stelle sich verschiebt und wie sie sich verschiebt, wenn man die Helligkeit des Spektrums einer Lichtquelle etwa durch Einengung der beiden Spalte  $T_1$  immer mehr vermindert. Das sind alles Fragen, auf die zurzeit noch keine Antwort gegeben werden kann.

#### 26. Messung der Helligkeit in den einzelnen Spektralbezirken als Bruchteil des Helligkeitsmaximums als Einheit.

Die Helligkeit im Gesichtsfeld jedes der beiden Fernrohre hängt ab von der Breite des Lichtspaltes  $T_1$  und der Breite des Spektralbezirkes  $T_2$ . Wird nur einer der beiden Spalte,  $T_1$  oder  $T_2$ , auf die Hälfte seiner ursprünglichen Breite eingestellt, so reduziert sich die Helligkeit auf die Hälfte, und auf ein Viertel, wenn auch der andere Spalt die halbe Breite erhält. Um den schädlichen Einfluß der beugenden Wirkung des Spaltes  $T_2$  auf die Markenbilder  $m$  und  $n$  auf ein Minimum zu beschränken, läßt man  $T_2$  auf 100 oder 200 Trommelteile stehen und macht die Messung allein mit dem Lichtspalt  $T_1$ .

Die Messung selbst machen wir in folgender Weise. Nach erfolgter Nulleinstellung des Apparates, bei der insonderheit die Spalte  $T_1$  unter sich und ebenso die Spalte  $T_2$  unter sich die gleiche Breite haben, stellen wir einen der beiden Apparate — wir wählen hierfür den linken Apparat — auf die Wellenlänge des Helligkeitsmaximums, also für unsere Petroleumlampe auf  $590 \mu$  ein. Wenn wir jetzt die Breite des Spaltes  $T_1$  links verringern, indem wir z. B. von 100 auf 75 Trommelteile einstellen, so ist damit die Helligkeit im linken Fernrohr auf  $\frac{3}{4}$  des Helligkeitsmaximums herabgedrückt, und wir haben nunmehr durch Drehen an der Mikrometerschraube  $M_1$  rechts *diejenigen Spektralbezirke im rechten Fernrohr aufzusuchen und an  $M_2$  abzulesen, für die die kreisende Bewegung des Raumbildes in eine geradlinige übergeht*. Wir werden finden, daß das für zwei Spektralbezirke zutrifft, von denen der eine rechts, der andere links vom Maximum gelegen ist (siehe Fig. 30 und Tabelle I). Von diesen beiden Spektralbezirken sagen wir dann, daß sie eine Helligkeit besitzen, *die gleich ist  $\frac{3}{4}$  der maximalen Helligkeit*. Indem wir so zu immer kleineren Bruchteilen der maximalen Helligkeit übergehen, erhalten wir die *gesuchte Helligkeitskurve unseres prismatischen Spektrums*.

Für die Messung der mehr oder weniger weit ab vom Maximum gelegenen Spektralbezirke wählen wir, zum Teil als Kontrolle, zum Teil um die Ungenauigkeiten zu vermeiden, die mit der Anwendung enger Spalte verbunden sind, einen etwas anderen Weg. Sind wir z. B., ausgehend von der Spaltbreite  $T_1$  links =  $T_1$  rechts =

100 Trommelteile, bei der Spaltbreite  $T_1$  links = 25 Tr. T., also bei der Helligkeit 0,25 angelangt, und wollen jetzt zur Helligkeit 0,20 übergehen, so lassen wir den Spalt  $T_1$  links nicht mehr auf  $\lambda_0$  stehen, sondern stellen ihn auf eine der beiden Wellenlängen ein, die wir für die Helligkeit 0,25

gefunden haben. Die Spaltbreite, die wir dann dem Spalt  $T_1$  links geben müssen, um dem von ihm erzeugten Spektralbezirk die Helligkeit 0,20 zu erteilen, berechnet sich aus  $x:100 = 0,20:0,25$  zu  $x = 80$  Trommelteile. Mit dieser Spaltbreite  $T_1$  links suchen wir dann wieder wie

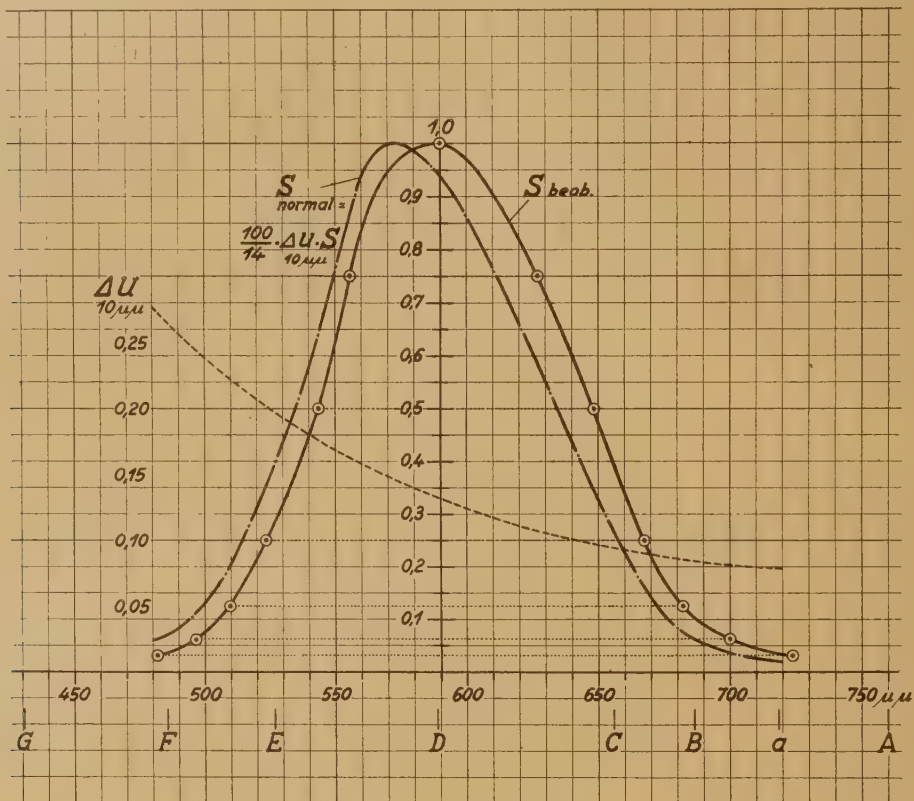


Fig. 30. Die im Spektrum einer Petroleumlampe beobachtete Sichtbarkeitskurve  $S_{\text{beob.}}$ .  $S_{\text{norm.}}$  bedeutet dieselbe Kurve nach erfolgter Reduktion auf das Normalspektrum.

Tabelle I.

| Helligkeit<br>$S$ | Spektralbezirke<br>(mittlere Wellenlänge) |
|-------------------|---|
| 1                 | 590 $\mu\text{m}$                         |
| 0,75              | 555,5 und 627,0                           |
| 0,50              | 543,5      648,5                          |
| 0,25              | 523,5      668,0                          |
| 0,125             | 509,5      682,0                          |
| 0,063             | 496,5 <sup>a</sup> 700,0                  |
| 0,031             | 482,0      723,5                          |

vorher die Spektralbezirke auf, denen die Helligkeit 0,20 zukommt, usf.

Die gefundenen Resultate können in mannigfacher Weise auf ihre Richtigkeit geprüft werden, einmal in der Weise, daß man den einen Apparat auf den einen und den anderen Apparat auf den anderen Spektralbezirk einstellt, beiden Spalten  $T_1$  die gleiche Breite gibt und dann zusieht, wie die Marke läuft. Sie darf dann keinerlei Kreisen zu erkennen geben. Auch das für mittlere und kleinere Helligkeiten weiter oben angegebene Verfahren bietet diese Kontrollmöglichkeit. Aber wer will, kann hier noch ein übriges tun in der Weise, daß er den Spalt  $T_1$  links einmal auf den Spektralbezirk links vom Maximum und dann auf den gleich hellen Spektralbezirk rechts vom Maximum einstellt. Man sieht, der Wege sind viele, die alle zum gleichen Ziele führen müssen und daher in ihren Angaben sich gegenseitig kontrollieren. Daher glaube ich auch, daß man wohl darauf verzichten kann, die Messungen noch einmal in der Weise auszuführen,



daß man alle Einstellungen, die man bisher mit dem linken Spalt  $T_1$  gemacht hat, jetzt mit dem rechten Spalt  $T_1$  macht und zur Messung der Wellenlänge die Mikrometerschraube  $M$  des linken Apparates benutzt. Aus dem Grunde ist auch bei dem vorliegenden Instrument ganz darauf verzichtet worden, die Mikrometerschraube  $M$  des linken Apparates in der gleichen bequemen Weise dem Beobachter zugänglich zu machen, wie das mit der Mikrometerschraube  $M$  des rechten Apparates geschehen ist.

Für das Verhalten des Beobachters während der Messung gelten im allgemeinen die gleichen Grundsätze wie sonst bei photometrischen Arbeiten: Tunlichste Schonung der Augen des Beobachters, daher Übertragung aller Operationen und Ablesungen, die er nicht unbedingt selbst machen muß, wie insonderheit die jedesmalige Einstellung des linken Spaltes  $T_1$  und die Ablesung der Wellenlänge an einen Gehilfen; sodann mehrmalige Wiederholung der Einstellung, indem man immer abwechselnd einmal in die einen und dann in der anderen Richtung an die gesuchte Stellung herangeht. Daß die Betätigung der Marken zweckmäßig durch einen Heißluftmotor erfolgt, wurde bereits früher erwähnt. So hat der Beobachter nur auf die kreisende Marke zu achten und mit der auf dem Tisch ruhenden rechten Hand die Mikrometerschraube so lange zu verstellen, bis das Kreisen aufhört. Ich wiederhole, was ich schon einmal im 11. Abschnitte erwähnte, daß die Prüfung auf Geradlinigkeit der Bewegung der Marke immer nur in der Ruhelage der Prismen, also bei stillstehender Mikrometerschraube  $M_1$  zu erfolgen hat.

Die Versuchsreihe, die in der obigen Tabelle niedergelegt ist, wurde im vorigen Jahre von einem Mechanikergehilfen der Meßabteilung ausgeführt, der ein vorzügliches stereoskopisches Sehvermögen besitzt und sich für die vorliegenden Messungen als besonders geeignet erwies. Dem Apparat fehlte damals noch mancherlei, was erst später hinzugekommen ist. So vor allem die beiden Wellenlängenskalen und die beiden Mattscheiben vor den Spalten  $T_1$ . Es ist daher nicht ausgeschlossen, daß bei einer Wiederholung dieser Versuchsreihe mit dem jetzigen vervollkommenen Apparat die einzelnen Werte sich ein wenig verschieben werden. Da es mir nur darauf ankommt, die Methode zu erläutern, so möge die Versuchsreihe vorläufig genügen.

Von dem für geringe Helligkeiten angegebenen Verfahren wurde in ausgiebiger Weise Gebrauch gemacht. Es sind im ganzen nur 13 Punkte der Helligkeitskurve, die bestimmt wurden, und es wäre wohl am Platze gewesen, in der Nähe des Helligkeitsmaximums noch einige Punkte zu messen. Immerhin war es möglich, wie aus Fig. 30 ersichtlich ist, durch diese 13 Punkte eine Kurve zu ziehen, die einen durchaus regelmäßigen Verlauf nimmt.

### 27. Reduktion der gemessenen Helligkeitskurve auf das Normalspektrum.

Die im vorigen Abschnitt ermittelte Helligkeitskurve für das Licht der Petroleumlampe hat hinsichtlich ihrer Form und der Lage des Maximums nur Berechtigung für unseren mit den beiden Glasprismen ausgerüsteten Spektralapparat. Ein anderer Apparat mit anderen Prismen würde einen etwas anderen Verlauf der Kurve und eine etwas andere Lage des Maximums ergeben haben. Einen für alle Apparate übereinstimmenden Verlauf, der dann nur noch von der Strahlungsenergie der Lichtquelle und von der Empfindlichkeit des menschlichen Auges abhängig ist, erzielt man nur mit dem vom Gitterspektroskop gelieferten Normalspektrum.

Wir müssen also die von uns gefundene Kurve auf das Normalspektrum reduzieren. Um das zu tun, müssen wir wissen, wie groß in den einzelnen Spektralbezirken der einem bestimmten Wellenlängenintervall zugehörige Winkelwert der Mikrometerschraube ist. Diesen Winkelwert  $\Delta U$  können wir weiter oben (Abschnitt 22) unserer ermittelten Wellenlängenskala entnehmen. Diese Kurve hatte als Abszisse die Wellenlängen der einzelnen Spektrallinien und als Ordinaten die diesen Wellenlängen zugehörigen Winkelwerte, diese gemessen durch die Angaben der mit einem Umdrehungszähler und einer hundertteiligen Trommel versehenen Mikrometerschraube  $M$ . Aus dieser in großem Maßstab angelegten Kurve entnehmen wir dann die einem bestimmten Wellenlängenintervall, z. B.  $\Delta\lambda = 10 \mu\mu$  zugehörigen Winkeldifferenzen  $\Delta U_{10 \mu\mu}$ . Wir tragen jetzt als Abszissen die Wellenlängen und als Ordinaten die Werte  $\Delta U_{10 \mu\mu}$  auf, gleichen die Kurve graphisch aus und sind in der Lage, aus ihr für jeden Wert von  $\lambda$  den zugehörigen Wert  $\Delta U_{10 \mu\mu}$  abzulesen. Wie leicht zu sehen, nehmen diese Werte nach dem blauen Ende infolge der starken Dehnung dieser Teile im prismatischen Spektrum immer mehr ab. Ich sehe ganz davon ab, Zahlenwerte anzugeben, ihr Verlauf ist aus der in Fig. 30 wiedergegebenen Kurve zu ersehen.

Da die in Trommelteilen der Mikrometerschraube gemessene Spaltbreite von  $T_2$  für alle Teile des Spektrums gleich groß ist, so haben wir zum Zwecke der Reduktion die aus der Helligkeitskurve entnommenen Ordinaten einfach mit den der gleichen Wellenlänge zugehörigen Werten von  $\Delta U_{10 \mu\mu}$  zu multiplizieren. Wir versehen das Produkt dann noch mit einem Faktor, der von der Wahl des Wellenlängenintervalls  $\Delta\lambda$  und von den besonderen Eigenschaften des zur Erzeugung des Normalspektrums dienenden Gitterspektroskops abhängt, im übrigen aber willkürlich gewählt werden kann, da von seiner Wahl die Lage des Helligkeitsmaximums im Normalspektrum nicht weiter berührt wird. Wir geben dieser Konstanten den Wert 7,1 und erzielen

damit für die neue Kurve die gleiche Höhe des Maximalwertes wie für die bisherige. Wie man sieht, sind durch diese Reduktion die Ordinaten im roten Teile des Spektrums kleiner, im blauen Teile des Spektrums größer geworden. Es hat eine Verschiebung des Helligkeitsmaximums nach dem blauen Ende des Spektrums stattgefunden, die ungefähr  $20 \mu$  beträgt.

### 28. Ermittlung der Empfindlichkeitskurve des Auges.

Von der von der Flamme ausgesandten Energie — diese gemessen durch das Bolometer,

keit ist man allzuleicht geneigt, eine der Lichtquelle allein eigentümliche Eigenschaft zu erblicken, während es in Wirklichkeit das ausdrückt, was unter dem Zusammenwirken der Strahlungsenergie der Lichtquelle und der Empfindlichkeit des Auges für die verschiedenen Teile des Spektrums vom Auge gesehen wird. Da die Sichtbarkeit des Spektralbezirkes sowohl mit der Empfindlichkeit des Auges und mit der Strahlungsenergie für diesen Bezirk zunimmt, so können wir setzen:

$\text{Sichtbarkeit} = \text{Energie} \times \text{Empfindlichkeit} \times \text{einer Konstanten,}$   
von der wir die zurzeit noch unbewiesene Voraus-

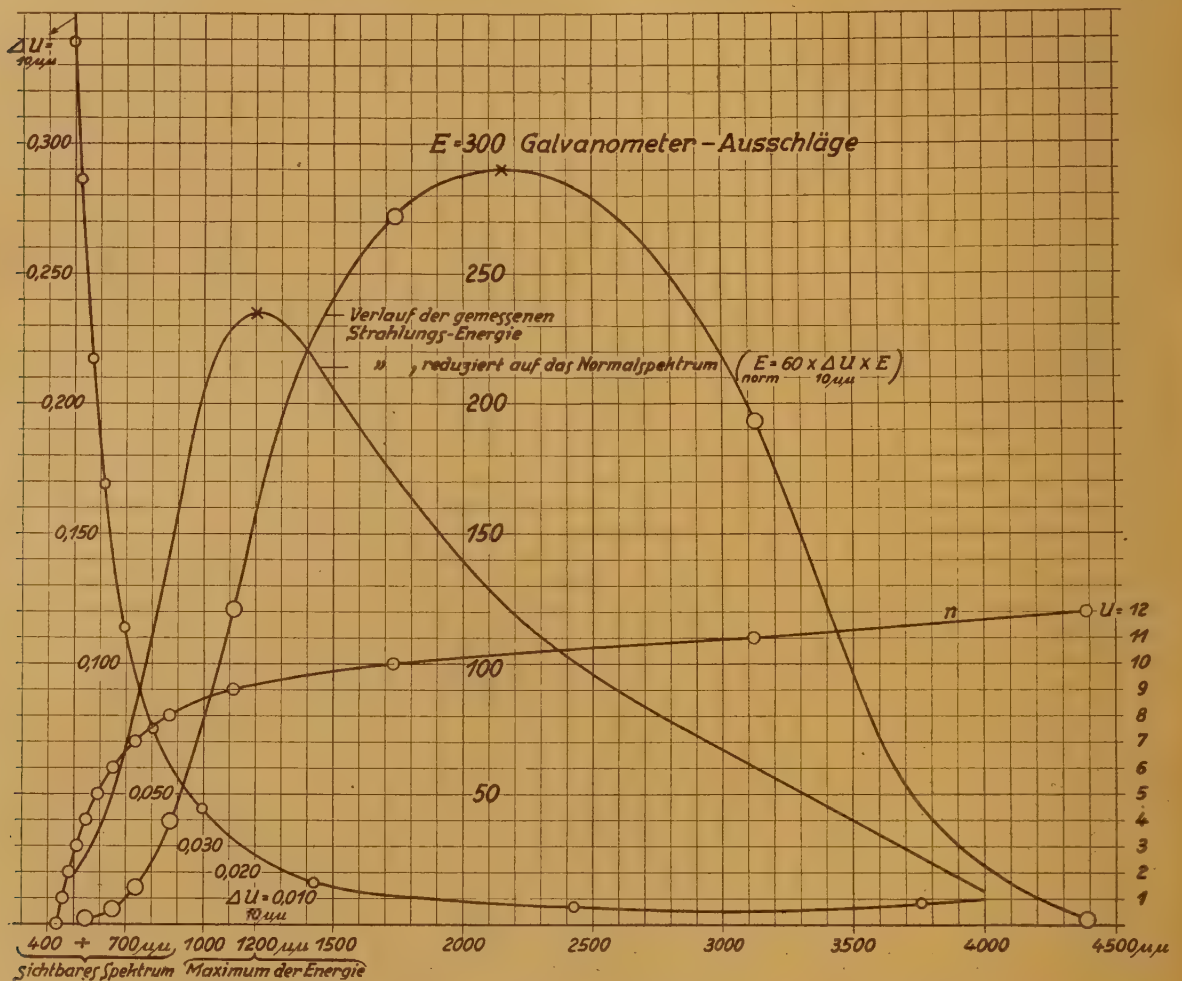


Fig. 31. Verlauf der Strahlungsenergie im Spektrum der Petroleumlampe.

wie bei allen Lichtquellen, die durch Erwärmen zum Leuchten gebracht werden — sieht das Auge nur diejenigen Spektralteile, für die das Auge die erforderliche Empfindlichkeit besitzt, geradeso wie die photographische Platte nur auf diejenigen Strahlen des Spektrums reagiert, für die sie besonders empfindlich oder empfindlich gemacht ist. Daher sollte man die von uns ermittelte Helligkeitskurve besser vielleicht als Sichtbarkeitskurve bezeichnen, denn in dem Worte Hellig-

setzung machen, daß sie für alle Spektralbezirke dieselbe ist, und wir sind in der Lage, aus der bolometrisch gemessenen Energiekurve und unserer photometrisch gemessenen Sichtbarkeitskurve die Empfindlichkeitskurve des bei der photometrischen Messung benutzten Auges abzuleiten.

Einer meiner jüngeren Kollegen im Zeißwerk, Herr Dr. Sonnefeld, hat sich auf meine Bitte in entgegenkommender Weise der Mühe unterzogen,



mit einem von ihm konstruierten neuen Strahlungsmesser, bei dem das Spektrum durch ein Steinsalzprisma erzeugt wird, die Strahlungsenergien unserer Petroleumlampe für eine Anzahl von Wellenlängen zu ermitteln. Die Resultate sind in der nachstehenden Tabelle II verzeichnet. Auf die Messung der Energiekurve außerhalb des sichtbaren Spektrums hatte ich kein Gewicht gelegt, deshalb sind über das Rot hinaus nur wenige Messungen gemacht worden. Sie genügen aber, um wenigstens im großen und ganzen den Verlauf der Energiekurve (siehe Fig. 31) auch in diesem Teile des Spektrums erkennen zu lassen. Spätere Messungen haben eine nur wenig abweichende Lage des Energiemaximums ergeben.

Die Tabelle enthält ferner in der vierten Spalte das Wellenlängenintervall für jedesmal eine Umdrehung ( $U$ ) der Meßschraube, in der fünften den hieraus berechneten Wert  $\Delta U$  für

Tabelle II.

| $U$ | $\mu\mu$ | Beobachtete<br>Galvanometer-<br>ausschläge $E$ | $\Delta \mu\mu$<br>für 1 $U$ | $\Delta U$<br>für<br>10 $\mu\mu$ | $\mu\mu$ |
|-----|----------|--|------------------------------|----------------------------------|----------|
| 0   | 436      | 0.1*   | 20                           | 0,500                            | 446      |
| 1   | 456      | 0.2*   | 29.5                         | 0.408                            | 468.2    |
| 2   | 480,5    | 0.5  | 24.5                         | 0.339                            | 495.2    |
| 3   | 510      | 1.0  | 35                           | 0.286                            | 527.5    |
| 4   | 545      | 2.0  | 46                           | 0.217                            | 568      |
| 5   | 591      | 2.5*   | 59                           | 0.169                            | 620,5    |
| 6   | 650      | 5.5  | 88                           | 0.114                            | 694      |
| 7   | 738      | 14.0   | 133                          | 0.075                            | 804,5    |
| 8   | 871      | 39.5   | 246                          | 0.044                            | 994      |
| 9   | 1117     | 121.0  | 615                          | 0.016                            | 1424,5   |
| 10  | 1732     | 273.0  | 1394                         | 0.007                            | 2429     |
| 11  | 3126     | 193.0  | 1266                         | 0.008                            | 3759     |
| 12  | 4392     | 2.0  |                              |                                  |          |

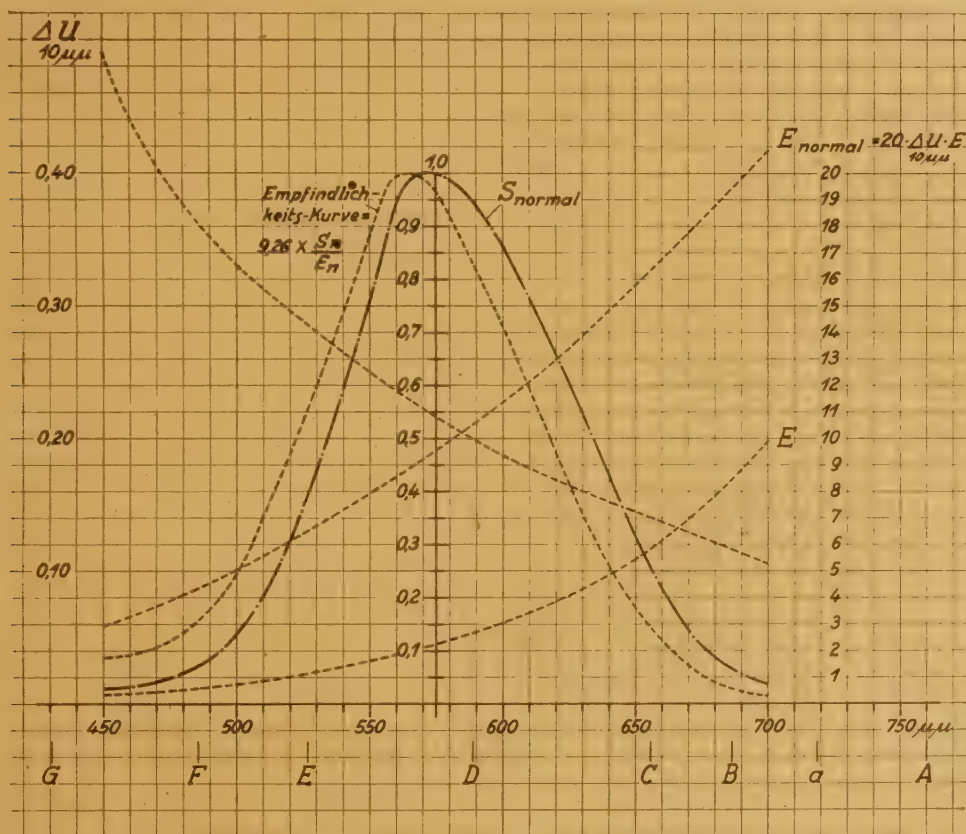


Fig. 32. Die aus der Sichtbarkeitskurve (normal) und der Energiekurve (normal) abgeleitete Empfindlichkeitskurve des Auges.

das Wellenlängenintervall von  $10 \mu\mu$  und endlich in der letzten Spalte die den Werten  $\Delta U$  zukommenden mittleren Wellenlängen.

Aus den in großem Maßstab gezeichneten und ausgeglichenen Kurven für  $E$  und  $\Delta U_{10\mu\mu}$  (Fig. 31) wurden dann für eine Reihe von Wellenlängen

die zusammengehörigen Werte entnommen, miteinander multipliziert und das Produkt zur Herstellung der auf das Normalspektrum reduzierten Energiekurve unserer Petroleumlampe verwertet. Ich verzichte darauf, die Tabellen selbst hier mitzuteilen, das Ergebnis der Reduktion ist

zur Genüge aus Fig. 31 zu ersehen. Der den Produkten hinzugefügte Zahlenfaktor 60 ist beliebig gewählt worden.

In erheblich größerem Maßstabe wurden dann dieselben Zeichnungen noch einmal für das sichtbare Spektrum ausgeführt. Es wurden wiederum die Werte für  $E$  und  $\Delta U_{1000}$ , die gleichen Wellenlängen entsprechen, den Kurven entnommen und ihre Produkte zur Konstruktion auch dieses Teiles der normalen Energiekurve  $E_n$  benutzt. Das Ergebnis ist aus Fig. 32 zu ersehen. Der Zahlenfaktor 20 wurde beliebig gewählt.

So kennen wir also jetzt die *normale Energiekurve innerhalb des sichtbaren Spektrums und die normale Sichtbarkeitskurve*. Die Quotienten der den gleichen Wellenlängen entsprechenden Werte dieser beiden Kurven liefern uns dann die sogenannte *Empfindlichkeitskurve des Auges*. Um die Maximalwerte der beiden Kurven Sichtbarkeit und Empfindung auf die gleiche Höhe zu bringen, wurde der Quotient noch mit dem Zahlenfaktor 9,26 versehen. Ich unterlasse es auch hier, die Tabellen selbst wiederzugeben, die nach den Rechnungen gezeichnete Kurve in Fig. 32 möge genügen. Wir sehen, das Maximum der Empfindung liegt weiter nach dem blauen Ende des Spektrums zu bei ungefähr 560 bis 565  $\mu$ , ein Wert, der sehr nahe mit dem auf anderem Wege für das Empfindlichkeitsmaximum gefundenen Werte übereinstimmt.

## 29. Helligkeitsmessungen im diskontinuierlichen Spektrum.

Hier ist das von uns für Helligkeitsmessungen an einem kontinuierlichen Spektrum benutzte Verfahren selbstverständlich nicht zu gebrauchen. Wir müssen uns nach einem anderen Verfahren umsehen.

Dieses Verfahren besteht darin, daß wir den linken Apparat auf die hinsichtlich ihrer Helligkeit als Einheit zu wählende hellste Spektrallinie, z. B. auf die grüne Linie der Quecksilberbogenlampe, den rechten Apparat auf die mit ihr zu vergleichende schwächere Linie desselben Spektrums einstellen und dann den Spalt  $T_1$  links soweit verschmälern, bis die anfangs kreisende Bewegung der Marke links herum in eine geradlinige übergeht. Der Messung muß natürlich auch hier die Nulleinstellung des Apparates vorangehen. Sie ist in der Weise vorzunehmen, daß bei Einstellung beider Apparate auf die gleiche Spektrallinie und bei Einstellung beider Spalte  $T_1$  auf die gleiche Spaltbreite die Lage der beiden vor den Spalten  $T_1$  befindlichen Mattscheiben so zueinander reguliert wird, daß die Bewegung der Marke als eine geradlinige erscheint.

Um sicher zu sein, daß die Spektrallinie auch voll von dem Durchlaßspalt  $T_2$  aufgenommen wird, legt man das Doppelfernrohr durch Drehen um eine am unteren Ende des Trägers angebrachte Vertikalachse (siehe Fig. 28) zur Seite

und betrachtet das in  $T_2$  erscheinende Spaltbild mit der hierfür vorgesehenen Vorschlaglupe.

Die Einstellung des Spaltes  $T_1$  links auf Geradlinigkeit der Bewegung des Raumbildes muß vom Beobachter selbst vorgenommen werden. Die hierzu dienende Handhabe mit Schnurlaufübertragung — siehe Fig. 28 — ist so gelegt, daß sie bequem mit der auf dem Tisch ruhenden linken Hand des Beobachters erreicht werden kann. Die Ablesung der eingestellten Spaltbreite hat durch einen Gehilfen zu erfolgen. Selbstverständlich besteht auch hier der Wunsch, die mit dem Spalt  $T_1$  vorgenommene Messung durch Vertauschen der beiden Spektrallinien und durch Verschmälern des Spaltes  $T_1$  rechts zu wiederholen. Man kann das machen, wenn man die Mikrometerschraube des Spaltes  $T_1$  rechts ebenfalls mit einer Handhabe und Schnurlaufübertragung versieht, wie sie für  $T_1$  links vorgesehen ist. Ich habe aber bei dem vorliegenden Apparat darauf verzichtet das zu tun, da man sich auch in anderer Weise helfen kann, und zwar in der Weise, daß man den auf die hellere Spektrallinie eingestellten Spalt  $T_1$  rechts so einengt, daß die Helligkeit rechts geringer ist als die links. Der Helligkeitsausgleich hat dann wiederum durch Einengung des linken Spaltes  $T_1$  zu erfolgen. Das Verhältnis der beiden Spaltbreiten liefert dann das Verhältnis der beiden Helligkeiten.

Ist der Helligkeitsunterschied der einzelnen Spektrallinien sehr groß, wie z. B. bei den vier Spektrallinien der Quecksilberbogenlampe, so kann hier wie oben bei der Ausmessung des kontinuierlichen Spektrums die Messung sehr lichtschwacher Spektrallinien auch in der Weise erfolgen, daß man nicht die hellste, sondern eine schwächere bereits gemessene Linie zum Vergleich heranzieht.

Die auf diese Weise durch Herrn Angelroth gemessenen Helligkeitswerte der vier Spektrallinien des Quecksilberlichtes sind in der nachstehenden Tabelle III angegeben.

Tabelle III.

| Sichtbarkeit der Linien<br>des Quecksilber-Spektrums<br>gemessen mit dem Stereo-Spektral-Photometer. |      |       |                  |
|--|------|-------|------------------|
| 436  | 491  | 546   | 577<br>579 $\mu$ |
| 4  | : 95 | : 200 | : 69             |
| 14   |      | :     | 200              |
| 200  | : 31 |       |                  |

Noch auf einen Punkt möchte ich hier aufmerksam machen. Beim kontinuierlichen Spektrum mußten wir, wie oben gezeigt wurde, die Reduktion der gemessenen Helligkeitskurve auf das Normalspektrum vornehmen. Das haben wir



hier nicht nötig, denn die für unser diskontinuierliches Spektrum ermittelten Verhältniszahlen der Helligkeiten der einzelnen Spektrallinien sind von der Wahl der dispergierenden Prismen unabhängig. Sie würden, den Verlust durch Absorption und Reflexion in den verschiedenen Apparaten als gleich vorausgesetzt, auch die gleichen bleiben, wenn wir unseren Apparat unter Benutzung von zwei Gitterspektroskopen aufgebaut hätten.

Zum Schluß endlich teile ich nachstehend noch das Ergebnis einer Messungsreihe mit, die Herr stud. Huß vom Physikalischen Institut der Universität Jena gleich zu Beginn einer größeren mit dem Stereo-Spektral-Photometer in Angriff genommenen Untersuchung auf meine Bitte und nach erfolgter Anleitung ausgeführt hat. Sie betrifft den Helligkeitsvergleich der Flamme des beim Refraktometer vielfach benutzten Löweschens Natriumbrenners (Bimssteinplättchen, getränkt mit einer Schmelzung von salpetersaurem Natrium) mit dem Spektrallicht einer durch den Induktionsstrom zum Leuchten gebrachten Heliumröhre.

Unmittelbar vor dem Spalt  $T_1$  rechts befindet sich die Natriumflamme, unmittelbar vor dem Spalt  $T_1$  links die dem Spalt parallel gestellte Kapillare der Heliumröhre. Die vorherige Einstellung des Spaltes  $T_1$  rechts geschieht immer so, daß nach erfolgter Einstellung auf Geradlinigkeit der Bewegung des Raumbildes mit Hilfe der Mikrometerschraube für den Spalt  $T_1$  links dieser von der Breite der leuchtenden Kapillare voll ausgefüllt war. Es wurde erhalten:

Wellenlänge ( $\mu\mu$ ) . . He 501 He 588 Na 589 He 668  
Helligkeitsverhältnis 1 : 12 : 1 : 0.5

Allzu hoch darf die Genauigkeit dieser Verhältniszahlen nicht bewertet werden, da die Einstellung auf Geradlinigkeit der Bewegung des Raumbildes durch das beständige Flackern der Natriumflamme beeinträchtigt wird und auch von der Tiefe der strahlenden Flamme abhängt.

Auch noch eine andere Erscheinung macht sich hier bemerkbar. Denn infolge des intermittierenden Lichtes der Heliumröhre ist die Bahn der im Raume sich drehenden Marke keine geschlossene mehr. An ihre Stelle tritt eine Reihe von leuchtenden Einzelmarken, deren Abstand voneinander von der Geschwindigkeit der Markenbewegung und von der Zahl der Unterbrechungen des Induktionsstromes abhängt. Die Versuche haben allerdings ergeben, daß dieser Umstand das Erfassen der geradlinigen Anordnung der einzelnen Markenbilder kaum beeinträchtigt.

Die gefundenen Verhältniszahlen für die drei Linien des Heliumspektrums hätten natürlich auch in der Weise bestimmt werden können, daß man vor den Spalt  $T_1$  rechts an Stelle der Natriumflamme eine zweite Heliumröhre setzt. Nur muß man dann, und das gilt in gleicher Weise auch für den Vergleich der Spektrallinien

verschiedenartiger Geißlerscher Röhren, darauf achten, daß nur ein Induktionsapparat benutzt wird und die Röhren hintereinander in die Leitung eingeschaltet werden, weil jede Zeitdifferenz der beiderseitigen Unterbrechungen das Raumbild der kreisenden Marke beeinflusst.

### Schlußbemerkungen.

Mit den vorstehend beschriebenen Messungen ist nur erst der Anfang in der Verwertung der neuen Methode und der ihr dienenden Apparate gemacht worden. Es wird noch sehr viel zu tun geben, ehe das ganze Arbeitsgebiet erschlossen vor uns liegt. Ich muß leider auf eine Fortsetzung dieser Messungen verzichten, weil ich mich doch nur als einäugiger Zuschauer an diesen Messungen beteiligen kann, nachdem das Stereo-Spektral-Photometer soweit durchgearbeitet ist, daß die Messungen mit ihm auch ohne meine Mitarbeit weiter fortgesetzt werden können. Auch glaube ich, daß die Messungen selbst nur dadurch gewinnen werden, daß der Beobachter, der sie ausführt, selbst die Resultate seiner Messungen mitteilt und dafür auch die Verantwortung übernimmt. Daher ist das vorbeschriebene Versuchsinstrument des Stereo-Spektral-Photometers dem physikalischen Institut der Universität Jena überlassen worden, welches dann später über den Fortgang der Untersuchungen weiter berichten wird.

Auf eine bei der Neukonstruktion des Stereo-Spektral-Photometers zu berücksichtigende Neueinrichtung des Apparates möchte ich allerdings noch kurz hinweisen. Sie besteht darin, daß man die beiden dispergierenden Prismen des einen oder des anderen Apparates zum Auswechseln gegen *dispersionslose Reflexionsprismen* einrichtet. Diese Prismen lassen sich so gestalten, daß die Verluste, die die Lichtstrahlen durch Reflexion an den Außenflächen und durch Absorption im Glasinnern erleiden, für beide Arten von Prismen angenähert gleich groß sind. Mit einem solchen Apparat können wir dann nach Belieben einmal wie bisher arbeiten, dann aber auch so, daß wir dem einen Auge jeden beliebigen Spektralbezirk oder jede Spektrallinie einer Lichtquelle, dem anderen Auge aber das spektralunzerlegte Licht derselben oder einer anderen Lichtquelle zuführen, so daß damit die Aufgabe in Angriff genommen werden kann, *die Helligkeiten der einzelnen Teile des Spektrums als Bruchteile der gesamten Helligkeit dieser oder einer anderen Lichtquelle zu bestimmen*. Es ist sicher, daß eine derartige systematische Untersuchung sowohl in physikalischer als auch in physiologischer Hinsicht noch manche interessante Tatsache zutage fördern wird.

Auch wird man der Beantwortung der Frage näher treten können, wie sich die übrigen oben erwähnten Methoden der heterochromen Lichtmessung (Methode der Pupillenreaktion, der Sehschärfenmethode und der Flimmermethode) in

ihren Resultaten verhalten, wenn man die Untersuchung nach diesen Methoden ausdehnt auf Spektralbezirke, die zu beiden Seiten des Helligkeitsmaximums liegen, aber nach unserem Verfahren als gleichhell anzusehen sind.

Ein Arbeitsgebiet, auf dem ebenfalls noch sehr viel zu tun sein wird und das für viele Fragen der physiologischen Optik von Bedeutung ist, betrifft die stereo-spektral-photometrische Untersuchung von Personen, die mit *partieller oder totaler Farbenblindheit* behaftet sind. Nach den Messungen, die auf meine Bitte zwei Grün-Rot-Verwechsler, die Herren Dr. *Sonnefeld* (Jena) und Dr. *v. Gruber* (München) gelegentlich mit dem Stereo-Spektral-Photometer unter Verwendung unserer Petroleumlampe als Lichtquelle gemacht haben, sind die Abweichungen von unserer obigen Sichtbarkeitskurve nicht von einer solchen ausschlaggebenden Bedeutung, als daß sich darüber jetzt schon etwas Bestimmtes sagen ließe. Soviel aber läßt sich sowohl auf Grund dieser und der obigen Versuche an farhentüchtigen Personen behaupten, daß die Farbenempfindung anscheinend mit der Helligkeitsempfindung nichts zu tun hat.

Das Hauptinteresse wird sich auf die Beantwortung der Frage richten, *wie sich die durch unsere Versuche festgestellte Unempfindlichkeit der „kreisenden Marke“ gegen Farbenunterschiede und gegen Unterschiede in der Farbenempfindung wohl erklären läßt.* Ich habe mir darüber folgende Gedanken gemacht. Wir wissen, daß mit der Abnahme der Helligkeit eines Spektrums die Unterschiede der Farben und die Farben selbst verschwinden, so daß an die Stelle des farbigen Spektrums ein farbloses weißliches Band tritt, das ungefähr im Gelbgrün das Maximum der Helligkeit besitzt. Auch weiß man, daß dieses sog. Dämmerungsspektrum nur im dunkel adaptierten Auge, wie man annimmt vermöge der alsdann in Aktion tretenden farbenuntüchtigen Stäbchen der Netzhaut zu sehen ist. Die naheliegende Erklärung, daß auch in unserem Falle die Stäbchen und nur die Stäbchen an der Erscheinung beteiligt sind, kann aber schon allein deshalb nicht als richtig angesehen werden, weil in der von den farhentüchtigen Zapfen ausgefüllten Fovea, in der die Spitzen der bewegten Marken in der Hauptsache zur Abbildung gelangen, die Stäbchen gänzlich fehlen. Demnach müßten wir annehmen, daß den Zapfen eine doppelte Funktion zukommt, derart, daß sie in der Weise reagieren, daß die erste über die Empfindungsschwelle tretende Helligkeitsempfindung keinerlei Farbenempfindung aufweist. An der scheinbaren Lage des Raumbildes, für die der zuerst sich geltend machende sinnliche Eindruck entscheidend ist, würde dann die später einsetzende Farbenempfindung ebensowenig wie das ebenfalls hinter der bewegten Marke herlaufende Nachbild etwas ändern können.

Ich erhebe keinen Anspruch darauf, mit diesem Versuch einer Erklärung das Richtige ge-

troffen zu haben. Bei dem komplizierten Charakter des Problems und bei der Aussichtslosigkeit, für die Empfindung der Farbe und die der Helligkeit ein einheitliches Maß zu gewinnen, ist diese Frage jedenfalls nicht leicht zu beantworten, um so mehr, weil alle diese Dinge letzten Endes doch auf Vorgänge hinauslaufen, die sich im Gehirn des Beobachters abwickeln.

Wir werden also zunächst abzuwarten haben, wie sich die Anhänger der *Heringschen* und die der *Helmholtzschen Farbentheorie* zu den in diesem Aufsatz beschriebenen Erscheinungen und Tatsachen stellen werden. Beide Theorien haben sowohl unter den Physiologen als auch unter den Physikern ihre Anhänger. Keine ist zur allgemeinen Anerkennung gelangt.

Mit Rücksicht auf diese Streitfrage ist es vielleicht von Interesse, noch auf folgendes hinzuweisen. Ich hatte bereits oben bei Gelegenheit der Besprechung der bisherigen Schwierigkeiten der heterochromen Photometrie auf den Gegensatz der Empfindung der Farben Rot und Gelb einerseits und der Empfindung der Farben Grün und Blau andererseits aufmerksam gemacht. Diesem Gegensatz in den Empfindungen trägt die allein auf der phänomenologischen Basis aufgebaute *Theorie der Gegenfarben von E. Hering* dadurch Rechnung, daß sie den genannten Farben eine „spezifisch aufhellende oder verdunkelnde“ Wirkung zuschreibt, während die *Young-Helmholtzsche Dreifarben- oder Dreifaser-Theorie* sich ausschließlich auf den Intensitätsbegriff gründet. Gegen die *Heringsche Theorie der Gegenfarben* hat in letzter Zeit der Wiener Physiker *Franz Exner* in einer Reihe von Aufsätzen („Einige Versuche und Bemerkungen zur Farbenlehre“, Wiener Ber. Bd. 127, S. 1829, 1918, „Zur Kenntnis des Purkinjeschen Phänomens“, ebenda Bd. 128, S. 71, 1918, und „Zur Frage nach der spezifischen Helligkeit der Farben“, Z. f. Sinnesphysiologie Bd. 52, S. 157, 1921) beachtenswerte Versuche und Gründe vorgebracht, aus denen er den Schluß zieht, daß für die *Heringsche Annahme* einer spezifisch aufhellenden oder verdunkelnden Wirkung der Farben „*derzeit kein objektiver Grund*“ vorliegt, eine Schlußfolgerung, die, wie mir scheint, durch unsere Versuche mit dem Stereo-Spektral-Photometer eine nicht unwesentliche Unterstützung erfährt. Ich denke hierbei in erster Linie an die Tatsache, daß das Helligkeitsverhältnis z. B. von Spektralrot und Spektralblau, also nach *Hering* einer spezifisch aufhellenden und einer verdunkelnden Farbe, je nach der Wahl oder der Temperatur der Lichtquelle *größer als eins, gleich eins und kleiner als eins sein kann*, wobei also nicht die Farbe (Wellenlänge), sondern einzig und allein der Helligkeitsunterschied der beiden Farben für das Kreisen der Marke verantwortlich gemacht werden muß.

Selbstverständlich ist damit der Streit um die Existenzberechtigung der einen oder der anderen



Theorie nicht entschieden, aber eine neue Grundlage für eine weitere Erörterung dieser Fragen ist gegeben und Tatsachen liegen vor, an denen eine Farbentheorie, wie sie auch sonst theoretisch begründet sein mag, nicht achtlos vorübergehen kann.

## Über die Rolle von Kern und Plasma bei der Embryonalentwicklung.

Von Andreas Penners, Würzburg.

(Schluß.)

### III. Experimentelle Untersuchungen über die Furchung von Hirudineen und Oligochäten und ihre Beziehung zu den beiden oben behandelten Hypothesen.

Nun gibt es noch bei anderen Formen Erscheinungen im Furchungsverlauf, die mit der Hypothese vom Teilungsschritt als eines differenzierenden Faktors recht gut in Einklang gebracht werden können. Auf eine hat z. B. *Schleip* (1914a) aufmerksam gemacht. Er untersuchte die Furchung der Eier von *Clepsine*, einer Hirudinee. Ihr Anfangsverlauf ist kurz folgender: Während der Reifung differenziert sich das Ei polar dadurch, daß sich an zwei gegenüberliegenden Stellen des Eies oberflächlich Plasmamengen anhäufen, die Polplasmen. Durch zwei meridional verlaufende Furchen zerfällt das Ei in vier Blastomeren, eine große, die beide Polplasmen enthält, und drei kleinere. Die nächste Teilungsebene verläuft horizontal, und die vier ersten Blastomeren schnüren gegen den animalen Pol vier Mikromeren ab. Währenddessen haben die Polplasmen ihre ursprünglich oberflächliche Lage verlassen, sind ins Innere des Embryos eingesunken und umgeben im 8-Zellen-Stadium den Kern der großen Zelle. In diesen ersten Furchungsschritten kommt ein Differenzierungscharakter ganz deutlich zum Vorschein. Zunächst tut er sich kund durch das Verhalten der Polplasmen, die auf dem Acht-Zellen-Stadium sich nur in der einen großen Zelle befinden und während des Ablaufs der ersten drei Furchungsteilungen allmählich ins Innere eingesunken sind, und dann dadurch, daß der Verlauf des dritten Furchungsschrittes ein ganz anderer ist, als der des ersten und zweiten. Die Hypothese *Boveris*, nach der ein Teilungsschritt eine Zustandsänderung des Eiplasmas hervorruft, bewährt sich hier ganz gut. In diesem Fall führt die Zustandsänderung beim dritten Furchungsschritt zur Mikromerenbildung.

Diese normalerweise in ganz bestimmter Bahn ablaufende Zustandsänderung kann man nun durch Zentrifugieren stören, und zwar in zweifacher Weise, wie *Schleip* (1914b) ebenfalls gezeigt hat. Werden Eier zu Beginn der ersten Furchungsteilung zentrifugiert, so wird erstens die Entwicklung verlangsamt, die Zustandsänderung des Plasmas behält aber vielleicht ihr Tempo

bei; sie läuft also zu rasch ab. Dann können Keime schon auf dem Zwei-Zellen-Stadium Mikromeren bilden; zweitens werden die sichtbaren Eisubstanzen stark verlagert. Damit werden auch die Zustandsänderungen in falsche Bahnen gelenkt. Es werden zwar vielfach erst im Vier-Zellen-Stadium Mikromeren abgeschnürt, aber in ganz abnormer Lagebeziehung zu den Makromeren.

Die beim Zentrifugieren gemachten Beobachtungen stehen nun meiner Meinung nach in bestem Einklang mit der eingangs behandelten Hypothese *Boveris*. Wenn ebenso wie beim Seeigeelei auch beim *Clepsineei* zwei verschiedene Entwicklungsperioden zu unterscheiden sind, eine erste vom Plasma beherrscht und eine zweite unter dem Einfluß des Kernes stehend, so ist es verständlich, daß im Anfang der Entwicklung, wo sich hauptsächlich Plasmaqualitäten geltend machen, das Zentrifugieren einen störenden Einfluß ausüben muß, da ja die plasmatischen Elemente stark verlagert werden. Mit dieser Anschauung stimmen auch die Resultate folgender Versuche von *Schleip* überein. Zentrifugiert man *Clepsineei* nach der ersten Furchungsteilung, also im Zwei-Zellen-Stadium, so wird zwar ein normaler Mikromerenkranz abgeschnürt, aber im weiteren verläuft auch in diesem Falle die Furchung anormal. Von jetzt ab, also im Vier-Zellen-Stadium, scheinen aber die Kernqualitäten, die von der Zentrifugalkraft wohl wenig oder gar nicht beeinflußt werden, in Wirksamkeit zu treten. Denn zentrifugiert man *Clepsineei* im Vier-Zellen-Stadium, so ist der Verlauf der beiden folgenden Teilungsschritte ziemlich normal. Ob nun wirklich lebensfähige Embryonen aus solchen Eiern hervorgehen können, ist zwar nicht festgestellt, aber sehr wahrscheinlich nach *Schleip*. Ebenso entwickeln sich Eier, im Sechs-Zellen-Stadium zentrifugiert, annähernd normal.

Die Experimentenreihe zeigt auf das deutlichste, daß man in der Beeinflussbarkeit der *Clepsineei* durch die Zentrifuge zwei scharf getrennte Perioden unterscheiden muß. Einzellige und zweizellige Eier erfahren in der Zentrifuge eine so starke Verlagerung der sichtbaren Eisubstanzen gegenüber den normalen Verhältnissen, daß die Weiterentwicklung durch die dadurch gestörte Zustandsänderung des Eiplasmas in falsche Bahnen gelenkt wird. Das Plasma, das die Entwicklung hier beherrscht, kann sich nicht auswirken, wie im normalen Ablauf der Furchung. Es kann sich kein auch nur annähernd normaler Embryo entwickeln. Vier- und mehrzellige Eier werden weniger beeinflusst. Den Kernen, die hier die Führung im Entwicklungs-geschehen haben, steht die Zentrifugalkraft machtlos gegenüber. Sie üben auf das Plasma in diesem Stadium einen größeren Einfluß aus als die Zentrifuge. Solche Embryonen haben daher viel mehr Aussicht auf eine Weiterentwicklung,

die den normalen Verhältnissen wohl ziemlich entsprechen dürfte.

Dieselben Überlegungen, die im Vorhergehenden für Clepsineeier angestellt worden sind, gelten auch für Tubifexeier. In Untersuchungen über die normale Entwicklung dieser Form konnte ich (1922) nachweisen, daß die Eireifung sowie das 2—4- und 8zellige Entwicklungsstadium denen von Clepsine vollkommen entsprechen, so daß also zunächst einmal die Hypothese vom Teilungsschritt hier Geltung besitzt. Ferner ergibt sich aus Untersuchungen von Parsevals (1922) über die durch Zentrifugieren abgeänderte Furchung, daß auch für dieses Objekt wiederum zwei Perioden in der Entwicklung auseinander zu halten sind, in denen die Zentrifugalkraft verschieden wirksam ist. Es konnte nämlich von Parseval für den ersten und zweiten Teilungsschritt einen Einfluß der Anordnung der sichtbaren Eisubstanzen auf die Teilungsrichtung feststellen. Wurde dieser normal vorhandene Einfluß durch die Umordnung der Eisubstanzen gestört, so verlief die Entwicklung anormal. Beim dritten Furchungsschritt ist ein solcher Einfluß der Eimaterialien nicht mehr vorhanden. Das Zentrifugieren hatte vom Vier-Zellenstadium ab keinen wesentlichen Einfluß mehr auf die Entwicklung. Also auch für Tubifex dürfte die Hypothese wohl Geltung haben, wonach in der Embryonalentwicklung Plasma und Kern zu verschiedenen Zeiten in verschiedener Weise wirksam sind.

Folgender Einwand könnte gegen meine Auslegung der Befunde an Clepsine- und Tubifexeiern gemacht werden: Es sei zugegeben, daß bis zum Vier-Zellen-Stadium das Plasma allein im wesentlichen die Entwicklung beherrscht, und dies folge aus den Zentrifugierungsversuchen, weil bis dahin die normale Entwicklung infolge der gänzlichen Umordnung der Plasmasubstanzen durch die Zentrifuge gestört wird. Aber daraus, daß nun vom Vier-Zellen-Stadium ab eine solche Störung nicht mehr möglich ist, braucht noch nicht mit Notwendigkeit gefolgert zu werden, daß jetzt die Kerne in Tätigkeit getreten sind. Es ist doch auch denkbar, daß durch die beiden ersten Furchungsteilungen die organeterminierenden Plasmasubstanzen schon so auf die vier ersten Blastomeren verteilt sind, daß in der Zentrifuge eine Vermischung dieser organbildenden Stoffe von jetzt ab nicht mehr möglich ist. Dem ist aber entgegenzuhalten, daß eine solche Scheidung sichtbar noch nicht stattgefunden hat. Im Gegenteil, in der einen großen Zelle des Viererstadiums ist noch alles enthalten, was der Embryo zu seinem Aufbau braucht, nämlich Entoderm, gewöhnliches Ektoderm, Keimstreifektoderm und Mesoderm. Daß nun in der Tat aus dieser einen großen Zelle allein (wenigstens bei Tubifex) ein ganzer und, abgesehen von der Größe, normaler Embryo entstehen kann, das geht aus Untersuchungen hervor, die schon seit langem im

Gange sind, und über die ich demnächst in anderem Zusammenhang zu berichten gedenke. Trotzdem nun diese Substanzen in einer einzigen Zelle sich befinden, kann das Zentrifugieren auf diesem Stadium nicht mehr verhindern, daß sie sich in normaler Weise voneinander sondern. Gerade diese Tatsache scheint mir doch sehr darauf hinzudeuten, daß hier zu den während der beiden ersten Furchungsteilungen wirksamen Plasmaqualitäten noch etwas anderes hinzugekommen ist; das ist die Wirksamkeit der Kerne.

Bei Seeigeln, Hirudineen (Clepsine) und Oligochaeten (Tubifex) sind demnach in der Embryonalentwicklung zwei Perioden zu unterscheiden, die in Hinsicht auf die Kern-Plasma-wirkung wesentlich voneinander abweichen. Wie steht es nun mit der Grenze zwischen den beiden Perioden bei den drei verschiedenen Tiergruppen? Beim Seeigel hört die erste Periode mit dem Beginn der Gastrulabildung auf, also mit der Sonderung von Ektoderm und primärem Entoderm. Bei Tubifex und Clepsine liegt die Grenze schon zwischen dem 4- und 6-Zellen-Stadium. Es sieht demnach so aus, als ob in den beiden letztgenannten Fällen die alleinige Wirksamkeit des Plasmas sehr viel früher aufhört. Aber es scheint nur so. Denn vergleicht man einmal die Furchung der Seeigel einerseits und dieser Anneliden andererseits miteinander, so ergibt sich, daß bei den zuletzt genannten Formen das Blastulastadium schon mit dem 4-Zellen-Stadium erreicht ist, da die Abschnürung der Mikromeren, die ja reine Ektodermzellen sind, schon in den Bereich der Gastrulabildung zu rechnen ist. Die Grenze zwischen den beiden Entwicklungsperioden liegt also bei allen drei Formen auf der gleichen Stufe des Entwicklungsgeschehens.

Noch auf eine Tatsache aus der Entwicklung der Clepsine- und Tubifexeier, die sehr gut zu den Erwägungen Boveris über den Teilungsschritt paßt, möchte ich hinweisen. Das reife *Ascarisei* ist in bestimmter Weise polar differenziert. Diese Polarität besteht in der Oocyte noch nicht. Vielleicht ist dies auch mit der differenzierenden Wirkung des Teilungsschrittes in Zusammenhang zu bringen. Boveri (1910 p. 207) sagt dazu: „Die polare Organisation des Eies, deren Existenz aus einer Reihe von Tatsachen zu entnehmen ist, entsteht als etwas Neues, wenn wir auch nicht genau anzugeben vermögen, wann dies geschieht. Es ist möglich, daß auch diese innere Umgestaltung an eine Zellteilung (Richtungskörperbildung) geknüpft ist.“ Die im letzten Satz ausgesprochene Vermutung gewinnt nun eine starke Stütze in den Reifungsvorgängen von Clepsine- und Tubifexeiern, soweit das nach rein deskriptiven Untersuchungen überhaupt möglich ist. Bei diesen Eiern (übrigens gilt das auch noch bei vielen anderen Formen) bilden sich, während die beiden Richtungsteilungen stattfinden, die beiden Polplasmen aus. Also zum



mindesten zeitlich fällt diese polare Differenzierung mit den Reifungsteilungen zusammen, eine Tatsache, die *Boveri* für *Ascaris* nur vermuten konnte.

#### IV. Bastardierung und Entwicklung von Amphibientieren ohne mütterliches Kernmaterial.

Im Zusammenhang dieser Ausführungen müssen auch die Untersuchungen „über Bastardierung und Entwicklung von Amphibieneiern ohne mütterliches Kernmaterial“ berücksichtigt werden, über die *P. Hertwig* (1922) zusammenfassend berichtet. Amphibieneier werden entkernt, „indem man sie vor der Befruchtung mit radioaktiven Substanzen bestrahlt und dadurch das mütterliche Chromatin vermehrungsunfähig macht“. Das Plasma wird in seiner Entwicklungsfähigkeit nicht geschädigt.

Bei Bastardierung zwischen so entkernten Frosch- und Kröteneiern (*Rana arvalis* ♀ × *R. temporaria* ♂, *Bufo communis* ♀ × *B. viridis* ♂, *B. viridis* ♀ × *B. communis* ♂, *B. communis* ♀ × *B. calamita* ♂) erhält man bestenfalls Embryonen, die während der Gastrulation ihre Entwicklung einstellen und dann absterben. Es ergibt sich also hier eine direkte Parallele zu *Boveris* Resultaten bei der Kreuzung zwischen einem kernlosen *Sphaerechinus*-Eifragment und *Paracentrotus*- oder *Parechinus*-Sperma. Sowohl hier wie dort ist eine Entwicklung nur bis zum Anfang der Gastrulation möglich.

Etwas günstiger sind die Resultate, die bei der Bastardierung entkernter Tritoneier erzielt werden. Es wurden kernlose *T. taeniatus*-Eier mit Spermien von *T. cristatus* und *palmaris* besamt. In beiden Fällen entwickeln sich die Bastarde über das Gastrulastadium hinaus, sogar bis in das Stadium der eigentlichen Organbildung hinein, und zwar die Bastarde mit *palmaris*-Sperma erheblich weiter als die anderen.

Diese Versuche mit Tritonen haben durch *Baltzer* (1920) eine Ergänzung und Erweiterung erfahren. Mit Hilfe der Schnürungsmethode von *Spemann* führte er Bastardierungsversuche zwischen kernlosen Eihälften von *T. taeniatus* und Spermien von *T. cristatus*, *alpestris* und *palmaris* durch. Die Blastula- und Gastrulabildung verläuft bei allen drei Bastarden normal und gleichmäßig. Von jetzt ab treten aber typische Differenzen auf:

Die Bastarde *taeniatus* × *cristatus*: Ein geschlossenes Medullarrohr und die Anlagen der primären Augenblasen sind ihre Höchstleistungen.

Die Bastarde *taeniatus* × *alpestris*: Hier kommen noch Gehörbläschen, Muskelsegmente, pulsierendes Herz und Pigmentzellen hinzu. Vorderbeine und Kiemenanlagen sind gerade angedeutet.

Die Bastarde *taeniatus* × *palmaris*: Gut ausgebildet sind hier die Augen, das Gehörorgan und Pigment; wenig verzweigte Kiemen, Bartfäden und Vorderextremitäten mit Zehenanlagen sind vorhanden.

Diese an Tritonen ermittelten Resultate nehmen eine Mittelstellung zwischen den Befunden *Boveris* an merogonischen Seeigelbastarden ein. Sie entwickeln sich alle über das Gastrulastadium hinaus, also weiter als *Boveris* Bastarde kernloser *Sphaerechinus*-Eifragmente mit *Parechinus*- oder *Paracentrotus*-Sperma. Sie sterben aber ab, bevor sie sich zu voll ausgebildeten Larven entwickelt haben, wie dies die Bastarde zwischen kernlosen Eifragmenten von *Parechinus* und Sperma von *Paracentrotus* tun.

Diese Tritonbastarde entwickeln sich also bei gleichem Plasma verschieden weit. Der *cristatus*-Kern kann den von *taeniatus* eine kurze Strecke weit über die Gastrulabildung hinaus ersetzen, der von *alpestris* etwas weiter, und am weitesten der von *palmaris*. Die drei Kernsorten von *cristatus*, *alpestris* und *palmaris* sind also in verschiedenem Grade dem von *taeniatus* äquivalent. „Aus dieser abgestuften Äquivalenz des Kernmaterials“ schließt nun *Baltzer*, „daß im Kern nicht nur die spezifischen Arteigenschaften enthalten sind, sondern daß in ihm — ähnlich, aber in weiterem Maße, als es *Boveri* auf Grund der merogonischen Seeigelentwicklung angenommen hat — generelle Anlagen bestehen, die bei der Determination der allgemeinen Organogenese eine Rolle spielen.“

#### V. Morgans Einwand gegen die Hypothese von den beiden hinsichtlich der Kern-Plasmawirkung verschiedenen embryonalen Entwicklungsperioden.

*Morgan* (1921) erhebt in seinem Buche „Die stoffliche Grundlage der Vererbung“ indirekt einen Einwand gegen die im Vorhergehenden geschilderte Hypothese *Boveris*, daß am Anfang der Entwicklung hauptsächlich Plasmaqualitäten wirksam sind und die Kerne nur generelle Eigenschaften zur Geltung bringen. Er setzt sich damit gewissen Folgerungen, die *Boveri*, *Conklin* und *Loeb* aus ihren experimentell-embryologischen Untersuchungen für das Vererbungsproblem gezogen haben, auseinander. Sie kommen zu dem Schluß: „daß die erblichen Merkmale der Formbildung des Embryos, ja überhaupt alle seine wesentlichen Merkmale im Zytoplasma liegen. Für die Wirksamkeit der Chromosomen würde wenig Raum bleiben; sie hätten die Details der Charaktere auszufüllen.“

Das eigentliche Vererbungsproblem beginnt für *Boveri* erst bei der Übertragung von Artmerkmalen. In diesem Sinne sagt er: „Alle essentiellen Merkmale des Individuums und der Spezies erhalten ihre Determinierung durch das Chromatin von Ei- und Spermakern“; und dieses ist hauptsächlich in der zweiten Entwicklungsperiode wirksam, während die erste durch die im Ei vorgebildeten Plasmaqualitäten bestimmt wird.

Während man also bei *Boveri* nur sozusagen zwischen den Zeilen eine Unterscheidung zwischen Gattungs- und Artvererbung auffinden kann, drückt sich *Conklin* in dieser Beziehung bestimm-

ter aus: „Wir sind Wirbeltiere, weil unsere Mütter Wirbeltiere waren und Eier vom Wirbeltiertypus produzierten. Aber die Farbe unserer Haut, unserer Haare, unserer Augen, unser Geschlecht, unsere geistigen Besonderheiten werden bestimmt durch das Spermium sowohl als auch durch das Ei, aus dem wir hervorgegangen sind.“

*Loeb* geht noch weiter, indem er sagt: „Bei dem gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse ist es unmöglich, ein Spermatozoon zu veranlassen, sich in einen Embryo zu entwickeln, während wir ein Ei dazu bringen können, sich in einen Embryo zu entwickeln, ohne daß ein Spermatozoon hinzutritt. Dies ist so zu verstehen, daß das Protoplasma des Eies der zukünftige Embryo ist, während die Chromosomen sowohl des Ei- als auch des Spermakerns nur die individuellen Merkmale liefern. Nach *Loeb* hat also der Kern nicht einmal auf die Bestimmung der Artcharaktere einen wesentlichen Einfluß. Ihm unterliegt nur die Bestimmung der individuellen Verschiedenheiten.“

Gegen diese Anschauung erhebt nun *Morgan* folgenden Einwand: die Differenzierung des Eiplasmas entsteht zur Hauptsache während seiner ovariellen Entwicklung, und zwar als ein Produkt der Wechselwirkungen zwischen Eiplasma und Eikern. Das wird selbst von den vorhin genannten Autoren zum Teil wenigstens ausgesprochen. Danach hat also das Eiplasma einmal „unter dem Einfluß seines eigenen Kernes mit einem väterlichen und einem mütterlichen Chromosomensortiment gestanden“. Wenn also auch im Anfang der embryonalen Entwicklung hauptsächlich Plasmaqualitäten sichtbar wirksam sind, so kann man diese doch letzten Endes vielleicht auf Kernwirkungen zurückführen, die eben in einer viel höheren Periode das Eiplasma nachhaltig beeinflußt haben. Dieser Einwand scheint mir nun in der Tat berechtigt zu sein. Er gilt damit auch gegen die in Rede stehende Hypothese von den beiden verschiedenen Entwicklungsperioden, die ja zum Teil dieselben Momente zur Voraussetzung hat wie der vorhin gemachte Unterschied zwischen Art- und Gattungsvererbung.

Der *Parechinuskern* hat auf die Furchung von *Sphaerechinuseiern* bis zum Blastulastadium keinen sichtbaren Einfluß. Nach *Morgan* ist das ohne weiteres zu erwarten, da das Eiplasma schon vor der Befruchtung und auch nachher immer unter dem Einfluß des zugehörigen Eikerns gestanden hat. Daß das hinzukommende artfremde Sperm nicht sofort einen sichtbaren Einfluß gewinnt, beweist noch lange nicht, daß der Spermakern überhaupt keine wesentliche Einwirkung in diesem ersten Stadium hat. Es ist ja denkbar, daß diese erst in der  $F_1$ - oder gar erst in der  $F_2$ -Generation äußerlich sichtbar wird. Und soweit sind die Versuche nicht ausgedehnt worden.

Alle aus Dispermie hervorgehenden Drittel-

oder Viertelkeime von Seeigeln liefern eine Blastula, ganz unabhängig davon, ob sie die richtigen Chromosomenqualitäten besitzen oder nicht. Das hierin enthaltene Kriterium für die Richtigkeit der Hypothese *Boveris* wird durch den Einwand *Morgans* ebenfalls entkräftet. Denn wiederum ist ja der Schluß, den *Boveri* aus den Tatsachen zieht, folgender: Die Wirkung des unrichtig gebauten Kernes setzt erst mit dem erreichten Blastulastadium ein. Also müssen vorher Plasmaqualitäten des Eies die Entwicklung beherrscht haben. Nach *Morgan* können diese aber ihrerseits in frühen Stadien durch den Eikern determiniert worden sein.

Mit den Resultaten aus den Merogonieversuchen verhält es sich ebenfalls nicht anders. Auch hier wurde ja von *Boveri* so argumentiert: Um die Entwicklung eines Seeigelplasmas über das Blastulastadium hinaus zu ermöglichen, muß eine Chromosomenkombination hinzukommen, die darauf abgestimmt ist. Bis dahin kommt das Plasma allein zurecht. Dieses kann aber nun nach *Morgan* seine Fähigkeiten in Ovarialstadien vielleicht vom Kern übermittelt bekommen.

Auf der einen Seite haben wir also die wohl begründete Anschauung, daß am Anfang der Entwicklung hauptsächlich Plasmaqualitäten des Eies wirksam sind. Demgegenüber steht nun auf der anderen Seite der soeben besprochene Einwand, daß eben dieses Eiplasma seine Determinierung vorher vom Kern erhalten hat, eine Anschauung, die wohl zuerst *Rabl* (1906) ausgesprochen hat, als er sich gegen die Deutung der Merogonieversuche *Godlevskis* (1906) wandte mit dem Bedenken, daß das mütterliche Protoplasma ja vor und während der Reifung in Wechselwirkung mit dem weiblichen Kern stehe. *Godlevski* (1909) wendet sich gegen dieses Bedenken mit den Worten: „Wenn man überhaupt das Problem behandelt, ob der Kern oder das Protoplasma die organbildenden Stoffe liefert, so denkt man immer schon . . . an das reife Ei, weil . . . das Protoplasma des unreifen Eies sich überhaupt nie befruchten läßt, also entwicklungsunfähig ist.“ Mit dieser „territoriellen“ Charakterisierung von Kern und Plasma ist nun eine Brücke geschlagen zwischen den beiden sich gegenüberstehenden Ansichten. Und trotzdem *Godlevski* (1918) hat nachweisen können, daß während der Reifung des Eies sehr große Mengen von Kernsubstanz in das Plasma übertreten, eine Tatsache, die dem Gedankengang *Morgans* eigentlich den nötigen Nachdruck verleihen könnte, hat er bei der obigen Auffassung des Begriffs von Kern und Plasma doch Recht, wenn er sagt, „daß nicht nur im Kern, sondern auch im Protoplasma des reifen Eies die vererbungstragenden Substanzen lokalisiert sind“.

Das allgemeine Ergebnis der obigen Auseinandersetzungen läßt sich also zusammenfassend etwa so darstellen: In der Embryonalentwicklung sind zwei Perioden auseinanderzuhalten. In der



ersten spielt das Plasma des Eies die Hauptrolle, in der zweiten werden die Kerne spezifisch wirksam. Dabei muß man sich vergegenwärtigen, daß Plasma und Kern des befruchteten Eies gemeint sind. Das Eiplasma seinerseits empfängt seine innere Determinierung wahrscheinlich während der Ovarialentwicklung und während der Reifung vom zugehörigen Kern.

#### Literatur.

- Baltzer, F., 1909. Die Chromosomen von *Strongylocentrotus lividus* und *Echinus microtuberculatus*, Arch. f. Zellf. Bd. 2.
- 1910. Über die Beziehung zwischen dem Chromatin und der Entwicklung und Vererbungsrichtung bei Echinodermenbastarden, ebenda Bd. 5.
- 1913. Über die Herkunft der Idiochromosomen bei Seeigeln, Sitzb. d. phys. med. Gesell. Würzburg.
- 1917. Über die Entwicklung und Vererbung bei Bastarden, Verh. Schweiz. Natf. Gesell.
- 1920. Über die experimentelle Erzeugung und die Entwicklung von Tritonbastarden ohne mütterliches Kernmaterial, ebenda.
- Boveri, Th., 1889. Ein geschlechtlich erzeugter Organismus ohne mütterliche Eigenschaften. Sitzber. d. Ges. f. Morph. u. Phys. München Bd. 5.
- 1892. Befruchtung. Ergebnisse d. Anat. und Entw. Mech.
- 1895. Über die Befruchtungs- und Entwicklungsfähigkeit kernloser Seeigeleier und über die Möglichkeit ihrer Bastardierung. Arch. f. Entw. Mech. Bd. 2.
- 1897. Zur Physiologie der Kern- und Zellteilung. Sitzber. d. phys. med. Ges. Würzburg.
- 1902. Über mehrpolige Mitosen als Mittel zur Analyse des Zellkernes. Verh. d. phys. med. Ges. Würzburg Bd. 35.
- 1903. Über den Einfluß der Samenzelle auf den Larvencharakter der Echiniden. Arch. f. Entw. Mech. Bd. 16.
- 1904. Ergebnisse über die Konstitution der chromatischen Substanz des Zellkernes. Jena.
- 1905. Zellstudien V. Jena.
- 1907. Zellstudien VI. Jena.
- 1910. Die Potenz der *Ascaris*-Blastomeren bei abgeänderter Furchung. Festschr. f. R. Hertwig Bd. 3.
- 1918. Zwei Fehlerquellen bei Merogonieversuchen und die Entwicklungsfähigkeit merogonischer und partiell merogonischer Seeigelbastarde. Arch. f. Entw. Mech. Bd. 44.
- Driesch, H., 1898. Über rein mütterliche Charaktere an Bastardlarven von Echiniden. Arch. f. Entw. Mech. Bd. 7.
- Godlevski jun., E., 1906. Untersuchungen über die Bastardierung der Echiniden- und Crinoidenfamilien. Arch. f. Entw. Mech. Bd. 20.
- 1909. Das Vererbungsproblem im Lichte der Entwicklungsmechanik betrachtet. Heft IX der Vorträge und Aufsätze über Entwicklungsmechanik d. Organismen.
- 1918. Der Eireifungsprozeß im Lichte der Untersuchung der Kernplasmarelation bei Echinodermenkeimen. Arch. f. Entw. Mech. Bd. 44.
- Hertwig, P., 1922. Bastardierung und Entwicklung von Amphibieneiern ohne mütterliches Kernmaterial. Im Verh. Ber. Deutsch. Ges. f. Vererb.-Wiss.; Zeitschr. f. indukt. Abst. u. Vererb. Bd. 27.
- Morgan, Th., 1921. Die stoffliche Grundlage der Vererbung. (Deutsche Ausgabe v. H. Nachtsheim.) Bornträger.
- von Parseval, M., 1922. Die Entwicklung zentrifugierter Eier von *Tubifex rivulorum* Sam. Arch. f. Entw. Mech. (befindet sich im Druck).

- Penners, A., 1922. Die Furchung von *Tubifex rivulorum* Sam. Zoolog. Jahrbücher, Anat. Ontog. Bd. 43.
- Schleip, W., 1914. a) Die Furchung des Eies der Rüsselegel. Ebenda Bd. 37.
- 1914. b) Die Entwicklung zentrifugierter Eier von *Clepsine sexoculata*. Verh. Deutsch. Zool. Ges. Bd. 14.
- Rabl, C., 1906. Über „organbildende Substanzen“ und ihre Bedeutung für die Vererbung. Leipzig.

### Der Menschenfuß<sup>1)</sup>.

Weidenreichs Arbeit ist zwar in der Hauptsache nur für Anatomen geschrieben, aber auch jedem Arzt und schließlich jedem Freund der Naturwissenschaften ist sie zum Studium zu empfehlen. Wer allerdings nicht das Bild des normalen menschlichen Fußes mit all seinen Weichteilen und Skelettelementen dauernd klar vor seinem geistigen Auge hat, kann den Darlegungen natürlich nur an der Hand eines guten Skelettpräparates folgen. Der Verfasser führt den Leser durch seine Arbeit, die sich durch folgerichtigen Aufbau und zweckmäßige Anordnung des aus mannigfachen Gebieten zusammengetragenen Stoffes auszeichnet, mitten in die Frage der sog. „Menschwerdung“ hinein. Es bestätigt sich auch hier, wie auf eine richtig gestellte Frage die Natur die Antwort nicht schuldig bleibt. Daß ihre Antwort freilich dann in einer Fülle neuer Tatsachen besteht, daß sie sich hinter ihnen wie hinter neuen Rätseln verbirgt, ist nicht die Schuld des Fragenden. Damit sei angedeutet, daß gerade für die „Abstammung des Menschen“ die Folgerungen keineswegs klar zutage liegen. Die neuen Beobachtungen am menschlichen Fuße gestatten aber immerhin manche Schlüsse. Sie regen zu neuen Untersuchungen, vor allem auf dem Gebiete der Rassenkunde an und beeinflussen schließlich den anatomischen Unterricht mittelbar. Selbst der, der sich viel mit dem Fuße beschäftigt hat, wird finden, daß er nach dem Studium der Weidenreichschen Abhandlung Skelett und Weichteile des menschlichen Stand- und Gangorgans mit anderen Augen ansieht als vorher.

Die Hauptaufgabe, die sich der Verfasser gestellt hat, ist die, die anatomischen Unterschiede zwischen dem Menschenfuß und dem Fuß der ihm systematisch nahestehenden Tiere festzustellen. Er gelangt zu der Ansicht, daß die allgemein als Hauptunterschied betrachtete Haltung und Stellung der großen Zehe keineswegs das einzige und nicht das bedeutendste Unterscheidungsmerkmal, sondern nur ein Teil tiefgreifender, grundsätzlicher Unterschiede sei, die sich andererseits aber auch mit Übereinstimmungen zwischen Menschen- und Säugetierfuß in harmonischer und zweckmäßiger Weise verbanden.

Eine Erörterung des Unterschiedes zwischen der aufrechten Haltung des Menschen und derjenigen Fälle, wo sie sonst noch in Ansätzen oder Vollendung vorkommt, eröffnet die Darstellung. Im Gegensatz zu den aufrechtgehenden Affen, die mit nach vorne umgeknickten Knien und physiologischen O-Beinen gehen, besitzt der Mensch eine leichte X-Beinstellung. Bei ihm, als einzigem Zweifüßer, trägt die untere Extremität das

<sup>1)</sup> Weidenreich, Franz, Sonderabdruck aus der Ztschr. für Morphologie und Anthropologie, Bd. 22, H. 1 und 2. S. 51—282 und 65 Abbildungen. Stuttgart. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung 1921.



Becken. Es wird bei den Affen der *innere* Condylus des Oberschenkels und der *seitliche* Fußrand belastet, beim Menschen dagegen mehr der *äußere* Condylus und der *innere* Fußrand. Diese besondere Art der Belastung ist der Schlüssel zum Verständnis des ganzen Fußbaues, der nun im einzelnen dargestellt wird. Der Verfasser zeigt, daß das, was man allgemein als „quere Wölbung“ des Fußes bezeichnet, zwei ganz verschiedene Zustände in sich vereinigt. Daß die Elemente der Fußwurzel und des Mittelfußes wie ein Bogen angeordnet sind, beruht auf der *Struktur* des Gewölbes, dessen Bestandteile sich wie die Steine eines Gewölbekragens gegenseitig tragen, wozu noch Vorsprünge am inneren und äußeren Rande kommen. Das ist lange bekannt. Der Verfasser erklärt, daß diese Wölbung durch Struktur ein altes Merkmal aller Landtiere sei (in dessen „Ableitung“ aus einer platt aufgesetzten Fußfläche des Hypothetischen Allerlei ist). Abgesehen davon, besitzt der Menschenfuß nun eine zweite Besonderheit, die er nicht mit allen Landtieren, sondern nur mit denen teilt, die eine kletternde Lebensweise führen, also den meisten Affen. Sie besteht darin, daß sich die Mittelfußknochen auf deren äußerstem, dem fünften, der dem Boden aufliegt, aufschichten bis zur höchsten Erhebung im zweiten Strahl. Gegen diese höchste Erhebung sinkt dann der erste Strahl wieder bodenwärts ab. Das ist nicht nur am Mittelfuß, sondern auch an der Fußwurzel nachweisbar, denn die Auflagerung des Sprunggelenks auf das Fersenbein und die unter beiden Knochen vorhandene Rinne deutet diese Aufschichtung an. Der Fuß zeigt dadurch die gleiche Haltung wie eine Hand, die man auf der Seite des kleinen Fingers schräg nach innen auf den Tisch legt. So tritt zum Strukturbogen der *Supinationsbogen*. Die Würdigung der Bedeutung dieser beim Menschen an sich ja bekannten Anordnung ist des Verfassers Verdienst. Es wird dadurch gezeigt, daß der Mensch die *seitliche* Fußkante beim Stand und Gang ebenso aufsetzt, wie die kletternden Tiere überhaupt. Der entscheidende Unterschied besteht nur darin, daß die Klettertiere es bei dieser Haltung bewenden lassen, während der Mensch durch einen ganz besonderen Mechanismus unter Beibehaltung dieser seitlichen Stützen auch *innen* und *vorn* eine Stütze entwickelt, indem er den bei den Klettertieren gleichsam in der Luft schwebenden ersten Strahl ebenfalls teilweise, und zwar vorne, mit dem Boden in Berührung bringt. So entsteht die dritte Besonderheit des Menschenfußes, die *Längswölbung*. Bei den Affen kommen hinsichtlich der Verhältnisse in der Längsachse des Fußes zwei Zustände vor. Erstens: die Fußwurzel liegt dem Boden auf, und vom Würfelbein an wölbt sich Mittelfuß und Zehenkette im Bogen bis zur Zehenspitze. Dieser vordere Bogen ist ein *Kletterbogen*, geeignet den Baumast zu umfassen. (Kletterfuß.) Zweitens: der gesamte Fuß liegt bis zu den Zehengrundgelenken dem Boden auf, und erst die Zehen erheben sich nach aufwärts, eine Form, die der Fortbewegung auf ebener Erde angepaßt ist. Hier stützen sich beim Lauf die niedergelegten Zehen und das Vorderende des Mittelfußes auf den Boden, die Fußwurzel wird aufgehoben. Beim Menschen als einzigem Wesen dagegen ist die Fußwurzel vom Boden *entfernt*, indem sich das Fersenbein mit seinem vorderen Ende emporhebt. Dieser „*Stützbogen*“ endet dann an dem Ende des Mittelfußknochens. Der Verfasser stellt sich nun vor, daß diese Erhebung des Fersenbeins *allmählich* zustande gekommen sei und betrachtet das Fersenbein als den Knochen, an dem die Spuren des hypothetischen Er-

hebungs Vorganges strukturell nachweisbar seien. In der Tat gelingt es ihm auf Grund seiner Voraussetzung (die zunächst als eine Arbeitshypothese angesehen werden muß), an dem Calcaneus eine überraschende Menge von Merkmalen nachzuweisen, die diesen, in unser aller Hand befindlichen, oft beschriebenen Knochen in ganz neuem Lichte erscheinen läßt. *Weidenreich* zeigt uns, daß im Vergleich zu den Affen, und zwar zu *allen*, auch den Menschenaffen, das menschliche Fersenbein an denjenigen Stellen massiger ist, die nach jener Annahme vom Wachstum besonders betroffen sein müßten. Der ganze *Fersenhöcker* ist nichts anderes, als eine Knochenauflagerung, die wie ein Absatz dem Fersenbein der Affen untergelegt ist. Dadurch gelangt sein hinteres Ende auf den Boden, das vordere Ende wird vom Boden entfernt, und zwar ist es in der Diagonale nach aufwärts gerichtet. Längs dieser Diagonale zeigt sich innen beim Menschen ein Muskelsprung, den kein anderes Säugetier besitzt, angehört einem ebenfalls nur dem Menschen eigenen Muskel, dem sogenannten inneren, medialen Kopf des viereckigen Sohlenmuskels (*M. quadratus plantae*), der bei anderen Tieren, auch dem Affen, ein Bestandteil des kurzen Zehenbeugers ist. Lateral am Fersenbein liegt ein, wohl ursprünglich als Widerlager gegen das Wadenbein wirkender, starker Fortsatz, der, weil er diesem Zwecke nicht mehr dient, zu unscheinbaren Knochenfortsätzen umgebildet ist, dem sogenannten Rollenfortsatz (*proc. trochlearis*) und dem als seitlicher Fortsatz des Fersenhöckers (*proc. lateralis calcanei*) beschriebenen Element. Die neue anatomische Nomenklatur hat diesen Fortsatz sinnwidrig als Fortsatz des Fersenhöckers bezeichnet, während schon *Gegenbaur* in ihm etwas Besonderes erblicken zu müssen geglaubt hatte. Ohne weiter auf Einzelheiten eingehen zu können, sei nur noch erwähnt, daß auch die inneren Strukturen des Knochens die neuen und charakteristischen Belastungsverhältnisse gegenüber denen des Fersenbeins der Affen deutlich zum Ausdruck bringen.

Im Lichte der *Weidenreichs* Auffassung wird hinsichtlich des *Mittelfußes* die oft beschriebene Erscheinung verständlich, daß die Mittelfußknochen ihre ursprünglich seitliche Fläche dem Boden aufliegend zeigen. Ihre, die Zehen tragenden Köpfchen sitzen den Mittelstücken so auf, daß sie teils mit ihrer unteren Fläche nach innen schauen, teils aber auch, als wenn sie eine Außendrehung vollzogen hätten, sich bestreben, ihre Fläche auch wirklich auf den Boden zu lagern. Die allgemein gegebene Darstellung, daß der erste Strahl den übrigen angelagert sei, erfaßt nach *Weidenreich* nur einen kleinen Teil der zu beobachtenden Erscheinungen. Der Kletterfuß liegt dem Boden auf, wie die aufgestellte Hand mit ihrer seitlichen Kante der Tischfläche. Der Daumen kann dann angezogen und abgespreizt werden, was zu der Greifbewegung führt (Anziehung = Gegenstellung [Opposition], Spreizung = Rückstellung [Reposition]). Bei den Affen liegen die Dinge so, daß durch die Gestalt der Gelenkflächen und der Knochen eine völlige Anlagerung an den zweiten Strahl überhaupt nicht stattfinden kann. Der erste Strahl mitsamt der großen Zehe steht hier tiefer gegen den Boden als die anderen Strahlen und ist nach einwärts gerichtet. Die beim Menschen zu beobachtende Anlagerung kann nur dadurch geschehen, daß der erste Strahl sich 1. um seine Längsachse dreht (nach außen tritt) und 2. unter Umbildung der Gelenkfläche des ihn tragenden Fußwurzelknochens höher gegen den Fußrücken emportritt. Da er sich unter der Last des Körpers gleichzeitig vorne auf den Boden senkt, so



entsteht die besondere Form des Menschenfußes, der allein unter allen Säugetierfüßen eine mit dem Ende des Mittelfußes abgeschlossene Längswölbung besitzt.

Auch bei den *Zehen* sind merkwürdige Abweichungen zu beobachten, die, kurz gesagt, darauf hinauslaufen, den *Kletterbogen* (*Klammerbogen*) zu strecken. Die Köpfchen der Mittelfußknochen, denen die Zehen aufsitzen, sind bei den Affen bodenwärts abgebogen, beim Menschen gleichsam nach aufwärts gedrängt. Bemerkenswert ist es, daß *Weidenreich* auf Grund älterer *Schwalbescher* Untersuchungen dafür eintritt, daß nicht die große Zehe länger, sondern die übrigen Zehen kürzer geworden seien. Zu allem zeigt sich auch in der gegenseitigen Anordnung der Mittelfuß- und Zehenelemente eine ganz andere Orientierung gegeneinander. Bei den Kletterfüßen und Lauffüßen der Affen richten sich die Zehen gegen eine Achse, die zwischen erster und zweiter Zehe hindurch verläuft. Beim Menschen dagegen zieht diese Achse *durch die zweite Zehe*, und es richten sich die drei äußeren Strahlen nach innen, der erste Strahl nach außen gegen diese Achse. In diesem Zusammenhange wird auch die ganz absonderliche Erscheinung gewürdigt, daß die zweite und dritte Zehe durch eine stärkere Schwimmhautbildung miteinander verbunden sind als die übrigen Zehen. (Syndactylie oder, wie es *Weidenreich* zu nennen vorschlägt, *Zygodactylie*). *Klaatsch*<sup>1)</sup> hat auf diese Eigentümlichkeit des Menschenfußes bereits hingewiesen, wie auch darauf, daß sie sich auffälligerweise unter allen Affen nur bei einer Art (*Hylobates syndactylus*) findet, unter den Menschen recht oft bei Australiern. *Weidenreich* gebührt das Verdienst, die schwierig zu sammelnde Literatur über dies merkwürdige Vorkommnis zusammengestellt und kritisch gewürdigt zu haben. Auch die damit in Verbindung stehenden Besonderheiten der Weichteile treten dadurch in neue Beleuchtung (z. B. Sehnen des langen Zehenstreckers, *M. extensor digitorum longus*).

Aus all diesen anatomischen Einzelheiten läßt sich nun leicht die Verschiedenheit zwischen Affen- und Menschenfuß herleiten. Zunächst ergibt sich, daß der Affenfuß keineswegs etwa in sich etwas Einheitliches ist. Hier finden sich (s. o.) zwei Typen vor. Entweder die Last des Körpers ruht weit vorn auf der Grenze zwischen Mittelfuß und Zehen, die Ferse bleibt frei und wird beim Laufen angehoben (Lauffuß [*Cercopithecus*, *Gibbon*]), oder der Fuß stützt sich auf das Würfelbein und strebt mit seinem Vorderteil zu einem, erst mit den Zehenspitzen endigenden Bogen hin. Das Fersenbein liegt in der Richtung der Fußwurzel, erhält aber entweder einen kleinen, untergelegten Absatz (Schimpanse, Gorilla) oder legt sich auch, entsprechend der ganzen Kantenstellung des Fußes, auf seine äußere Fläche (Gorilla). Der Orang ist von diesem Typus weit entfernt, indem er das Fersenbein ohne jede Andeutung eines Absatzes zeigt. Bewegen sich diese Klettergeschöpfe auf dem Boden, so müssen sie mit ganzer Sohle auftreten; ein „Abwickeln“ ist unmöglich, die Zehen werden zur Faust eingeschlagen. Der Mensch behält nun seine ursprüngliche Kletterhaltung hinsichtlich des *seitlichen* Fußbrandes bei, drängt aber den inneren Fußrand bodenwärts und erhebt das Fersenbein vorne, während er es hinten durch den mächtigen „Absatz“ auf den Boden bringt. Was der

Menschenfuß dadurch erreicht, ist „*Gangbereitschaft*“. Der Unterstützungspunkt wird weit nach vorne (auf die Köpfchen der Mittelfußknochen) verlagert, und die Abhebung des Fersenbeins ist müheloser als bei Affen, da es mit seinem vorderen Teil dem Boden bereits entrückt ist. Von einem eigentlichen „Abwickeln“, wie es gewöhnlich geschildert wird, kann nicht die Rede sein; bei jedem Schritt vollzieht der Mensch vielmehr merkwürdigerweise diejenige Bewegung, die nach *Weidenreich* phylogenetisch die neue Gestalt herbeigeführt hat (Niedertreten auf die seitliche Kante, darauf Belastung des vorderen Endes des ersten Strahles). Der Menschenfuß beim Lauf zeigt dann im wesentlichen die Haltung des Fußes der Laufaffen überhaupt, die Zehen sind jetzt keine Klammerorgane mehr, sondern dienen lediglich dem Abstoßen des Fußes vom Boden. Auch die Bewegungsvorgänge innerhalb des Affen- und Menschenfußes fallen ganz verschieden aus. Die Ruhestellung des Affenfußes ist die Supination (innerer Fußrand erhoben, Sohle nach innen), des Menschenfußes dagegen die Pronation (Senkung des inneren Fußrandes). Der Affenfuß zeigt ferner in sich selbst stärkere Beweglichkeit, sogar innerhalb der Fußwurzel, wo beim Menschenfuß durch straffe Gelenke und durch besondere Anordnung der Bänder ein, nur beim Gang im geringen Maße federndes Gefüge entstanden ist. Diese Bänder, aber auch der Muskelzug und andere Weichteile der Fußsohle geben dem ganzen Gewölbe nicht nur festen Halt, sondern wirken auch der, ohne diese Hilfsmittel zu erwartenden Verbreiterung und Abflachung des Gewölbes entgegen. Ihre Wirkung trägt dazu bei, den zwischen dem Fersenbein und Würfelbein stark nach unten abgelenkten Fuß *kürzer und schmaler* zu erhalten.

Es liegt nahe, bei diesen Umbildungsvorgängen der beiden wichtigsten Stellungsanomalien des Menschenfußes, der *Platt-* und *Klumpfüße*, zu gedenken. Sind sie etwa durch diesen Mechanismus vorbereitet? Entstehen sie im Zusammenhang mit ihm? In anatomischen Lehrbüchern wird gewöhnlich darauf keine Antwort gegeben; wo es geschieht, ist die Darstellung nicht ganz richtig. Die Handbücher der Chirurgie geben bessere Auskunft. Auf Grund der chirurgischen Angaben habe ich selbst kürzlich die Verhältnisse ganz gedrängt beschrieben (Atlas u. kurzgef. Lehrbuch der Top. Anat. v. O. Schultze, 3. Aufl. München, J. F. Lehmann 1922, S. 322). Die beiden Formen des Plattfußes müssen streng auseinandergehalten werden. Beim *Pes planus* steht die Senkung des vorderen Fersenbeinendes im Vordergrund, wodurch die Abplattung der Fußsohle hervorgerufen wird; beim *Pes valgus* herrscht das Abgleiten des Sprungbeins nach innen vor. *Weidenreich* betont nun mit Recht, daß im *Pes planus* die ursprüngliche Stellung des Fersenbeins erhalten sei, während der *Pes valgus* eine Steigerung des Absinkens der inneren Fläche (Pronation) bedeutet. Auf den Klumpfuß gibt *Weidenreichs* Darstellung keine ausreichenden Hinweise. Anhaltspunkte könnte man indessen, abgesehen von der Tatsache, daß überhaupt der Menschenfuß beim Fötus und bei Kindern, ehe sie gehen lernen, in Varusstellung steht, darin finden, daß, wie *Weidenreich* mitteilt, bei den Affen das Schienbein nach einwärts gewunden ist und das Wadenbein vorne steht. *Weidenreich* erblickt hierin einen Ausgleichsvorgang, da ohne diese Stellungseigentümlichkeit der Fuß mit seiner Längsachse nach außen schauen müßte. Auch beim menschlichen Klumpfuß steht in der Regel das Schienbein hinten, das Wadenbein vorne. Es ist nicht unwahrscheinlich,

<sup>1)</sup> Die Abstammungslehre. Zwölf gemeinverständliche Vorträge über die Deszendenztheorie im Lichte der neueren Forschung. Jena, Fischer, 1911. Vortrag 12: Die Stellung des Menschen im Naturganzen von H. Klaatsch.



daß den Anstoß zur Klumpfußbildung eben ein Verharren der Unterschenkelknochen auf primitiver Stellung bildet, wenngleich es auch Fälle gibt, wo gerade umgekehrt das Wadenbein weit vorn steht (s. u.).

Mit aller gebührenden Vorsicht (S. 261) betritt *Weidenreich* das Gebiet der Phylogenie. Es würde eine starke Entsaugung bedeuten, die Fülle der von ihm gewonnenen Ergebnisse lediglich für eine Beschreibung zu verwerten. Handelt es sich wirklich um einen historischen Vorgang? Können wir *Anzeichen* dieses Vorganges noch heute beobachten? Von welchem Ausgangspunkt aus läßt sich die Entwicklung ableiten? In Kürze gesagt zeigt weder der Fuß irgendeiner lebenden, noch fossilen Menschenrasse irgend etwas, was als „primitiv“ bezeichnet werden kann. Alle Hominiden haben den gleichen Fußbau. Alle *gehen* aufrecht und *sind* aufrecht gegangen. Wie steht es mit den Affen darin? Mit dem Orang ist gar kein Vergleich möglich. Der Gorilla weist ebenfalls eine Fußform auf, die in keiner Weise als „Ausgang“ des Menschenfußes gelten kann. Am nächsten wäre an den Schimpansen anzuknüpfen mit einem dem des Menschen ähnlichen Sprungbein und einem Fersenbein, das in keiner Richtung spezialisiert ist. Mit dem Gibbon vereinigt den Menschen die Zygodaktylie, ferner daß dieser ein Laufaffe ist, sich also wenigstens in einer Phase der Fortbewegung ähnlich wie der Mensch bewegt. Auch an die Laufaffen (*Cercopithecus*) besteht Anklang. *Weidenreich* nimmt den *Strukturbogen* als alten Besitz der Landtiere an, der sich bei den Säugetieren auf alle Ordnungen vererbt habe; der *Supinationsbogen* ist nach ihm ein Klettermerkmal aller dem Baumleben angepaßten Tiere, wie es auch der Mensch geführt habe. Der *Standfuß* ist ein rein hominides Merkmal, das von einem unbekannten Ahnen erworben worden sei unter dem Einfluß der *veränderten Belastung*. Indem bei völliger Aufrichtung die Belastungssache durch den inneren Fußrand und nicht durch den äußeren fiel, sei die innere Stütze aufgetreten, habe sich das Fersenbein aufgerichtet, sei die besondere menschliche Längswölbung entstanden.

Bei der völligen Dunkelheit, die über diesen Dingen liegt, ist es an sich gleichgültig, wie man sich entscheidet. Aber bestimmte Einwände sind doch möglich und sollen auch an dieser Stelle nicht unterdrückt werden. Sie liegen einmal auf s. v. v. „kausalem“, sodann auffallgemein-deszendenztheoretischem Gebiet. Die Annahme, daß der aufrechte Gang bei veränderter Belastung den Fuß so weitgehend umgestaltet habe, ist bekanntlich von *Klaatsch* angefochten worden. *Weidenreich* lehnt *Klaatschs* Darstellung ab, wie ich glaube mit Unrecht. „Der menschliche Fuß ermöglicht den aufrechten Gang, die Befähigung zu letzterem ist bedingt durch die Eigentümlichkeiten des menschlichen Fußes. Nun soll der letztere dadurch bedingt werden? Das hieße ja die Folge für die Ursache ansehen“ (*Klaatsch* S. 395). *Weidenreich* hat ja überzeugend nachgewiesen, daß die gesamten Umgestaltungen des Fußes von der Senkung des inneren Fußrandes (*Pronationsbewegung*) aus erklärt werden können. Es läßt sich aber in der Tat *nicht* überzeugend dartun, daß nun gerade die *Belastung* eine solche Senkung mit Notwendigkeit hervorrufen mußte. Es läßt sich sehr wohl denken, daß auch bei völlig aufrechter Haltung eine *Supinationsstellung* erhalten geblieben wäre, und daß die weitere Umbildung des Menschenfußes von *dieser* Stellung ihren Ausgang genommen hätte. Beweisend für die Möglichkeit solcher Annahme scheint mir ein Fall von Klumpfuß zu sein, den ich selbst beobachtet

habe. Er ist von *Pfrang* beschrieben worden (Archiv für Orthopädi. u. Unfallchirurgie, Jahrgang 1920) gerade mit Rücksicht auf die Weichteile, was bisher bei Klumpfüßen systematisch nicht geschehen war. Hier hatte sich eine neue Standfläche entwickelt, bestehend aus dem nach hinten gerichteten Knöchel des Wadenbeins, der seitlichen Fläche des Fersenbeins (ähnlich also wie beim Gorilla nach *Weidenreich*), dem Körper des Sprungbeins, dem Würfelbein, dem fünften Mittelfußknochen mit gewaltig entwickeltem Höcker und der fünften Zehe, alle Knochen mit ihrer sonst äußeren Fläche den Boden berührend. An Stelle der Achillessehne, die schwächer als gewöhnlich war, hatten sich die Sehnen der Wadenbeinmuskeln (*Mm. peronei*) stark verdickt. Diese bildeten die Muskulatur, die den abnorm gestalteten Fuß vom Boden abhob. Es war hier ein in seiner Art *vollständig zweckmäßiger* Apparat entstanden, und es ist an sich nicht notwendig, anzunehmen, daß durch die Belastung eine solche Form nicht auch hätte entstehen können. Der Fall ist gleichzeitig ein Beweis dafür, daß weitgehende Umgestaltungen an Knochen und Bändern gleichzeitig ausgebildet werden können. Das ist sehr wichtig, weil auch *Weidenreichs* Darstellung mit solchen gleichzeitigen Umbildungen rechnen muß.

Die von der Theorie geforderte Umbildung der inneren Seite wird durch *Klaatschs* Annahme leichter verständlich gemacht. Er sagt ausdrücklich, daß die von ihm als Folge des Lebens auf und an Bäumen angenommene Kletterei mit *proniertem* Fuß vor sich gegangen sein müsse. Die Darstellung, die *Weidenreich* (S. 236) von *Klaatschs* Schilderung gibt, ist — wenigstens mit der Schilderung *Klaatschs*, die mir vorliegt (l. c.) — nicht vereinbar. Ein Einwand gegen *Klaatsch* kann auch nicht wohl von daher genommen werden, daß er „unmögliche und phantastische Situationen“ voraussetze; denn *Klaatsch* zeigt ja gerade, wie weit verbreitet diese Lebensweise noch heute in den Tropen, bei den Singhalesen und bei den Australiern vorkommt. Er führt auch die Berichte der Tasmanischen Expedition an, die die Eingeborenen damals in dieser Lebensweise antraf. So wenig ich mich für die Richtigkeit der *Klaatschschen* Annahme einsetzen will, denn wir wissen eben von diesen Dingen nichts und können nichts wissen, so wenig scheint es mir zulässig, das, was er schildert, ohne weiteres abzulehnen. Dabei bleibt das, was *Weidenreich* über den *Strukturbogen* als primitive Einrichtung des Fußes der Landbewohner sagt, unangefochten. *Klaatsch* hätte dies als eine willkommene Verbesserung seiner eigenen Darstellung ansehen müssen.

Auch vom deszendenztheoretischen Standpunkt aus erscheint mir die Darstellung, die *Weidenreich*, wenn auch mit aller Vorsicht gibt, den heutigen Ansichten über den Zusammenhang der Organismen nicht zu entsprechen. Wir können eine *einstämmige* Entwicklung der Organismen im alten Sinne nicht mehr zur Grundlage unserer stammesgeschichtlichen Spekulationen machen. *Klaatschs* Hypothese in der endgültigen Form, die er ihr, „um allen Mißverständnissen vorzubeugen“ (im zitierten Vortrag S. 479) gegeben hat, besagt nur, daß bereits zur Zeit, wo die Vorstadien der Menschenbildung die Erde zu bevölkern begannen, Wanderungen, Isolationen, und demnach Rassenbildungen, stattgefunden haben müssen, daß demnach die ersten Menschen, bereits in Rassen gespalten und zerstreut auf der Erde, ihre Entwicklung an zahlreichen Orten gleichzeitig und gleichsinnig vollzogen haben müssen. Das widerspricht an sich keineswegs dem, was wir heute auf experimen-



tellem Wege über die Veränderung der Rassen und Arten festgestellt sehen (z. B. *Tower* beim Colodokäfer). Wofür nur ähnliches Keimplasma da war, mußte die Reaktion auf ähnliche äußere Reize überall auch zu ähnlichen Produkten führen. *Klaatsch's* weitere Annahme, daß auf dem Vormenschenstadium gewisser Rassen Bildungsvorgänge in engerer Beziehung zu den Rassenbildungsvorgängen des Orang, andere in Beziehung zu denen des Gorilla gestanden haben, erscheint nach manchem, was heute bekanntgeworden ist, zu eng und zu einseitig. Aber das ist doch sein Verdienst, daß er als Erster erkannt hat, daß die Rassenbildungsvorgänge an der Wurzel des Menschengeschlechts viel komplizierter abgelaufen sein müssen, als das bei der üblichen, auch von *Schwalbe* immer bevorzugten Schilderung vom „Menschenahnen“, der ein entfernter Vetter der Anthropoiden sei, zum Ausdruck gelangt war. Ich habe selbst an mehreren Stellen darauf hingewiesen, wie sich im menschlichen Körper Merkmale mannigfacher Affenformen vereinigt finden (Schädelbasis, Brustbein). Und nun wird uns hier gerade durch *Weidenreich's* Darstellung gezeigt, daß für das Fußskelett genau das gleiche gilt. Die Hominiden zeigen im Fußbau Merkmale, die bald mehr an den Anthromorphentypus, bald mehr an den Cercopitheciden anklängen. Beachtet man dazu die Zygodaktylie, die er merkwürdigerweise nur mit dem Gibbon, und auch nur mit einer seiner Arten, gemeinsam hat, so ergibt sich, daß, wenn wir in diesen Dingen wirklich gemeinsames Erbgut sehen wollen, was ja auch nicht ohne weiteres feststeht, sehr komplizierte Blutmischungen voraussetzen sind, ehe dasjenige entstand, das nun die Fähigkeit hatte, den Boden mit dem ganzen Fuß zu berühren. Diese Fähigkeit konnte nicht im Sinne einer Vererbung erworbener Eigenschaften auftreten, sondern sie lag begründet in der Konstitution des Keimplasmas, das „zufällig“ diese Reaktionsbreite besaß. Isolation und Auslese konnten dann, und nur dann, dahin wirken, daß die Wesen den neuen Typus fortpflanzten, so daß diese, und nicht mehr die supinatorische Reaktion zum neuen Merkmal wurde.

Es ist auch nicht richtig, die „Menschwerdung“ allein vom Fußskelett abzuleiten (was *Weidenreich* auch nicht tut). Die Fußbildung ist weder die erste noch die wichtigste Reaktion, sondern nur ein einzelnes Phänomen, das mit anderen wohl schlagartig am ganzen Körper auftrat und sich im Gehirn, den Sinnesorganen, der Hand, der Körperhaltung usw. äußerte. Insofern ist das sehr wertvolle Material, das wir der *Weidenreich'schen* Untersuchung verdanken, zwar ein sehr wesentliches, aber auch nur ein Glied in der Kette der Tatsachen, aus denen wir bei weiterer Vertiefung unserer Erfahrungen uns unser Urteil über das Wesen der Anthropogenie bilden werden.

W. Lubosch.

## Besprechungen.

**Trautz, Max, Lehrbuch der Chemie.** Zu eigenem Studium und zum Gebrauch bei Vorlesungen. — Erster Band: Stoffe. Berlin und Leipzig, Vereinigung wissenschaftlicher Verleger, Walter de Gruyter u. Co., 1922. XXVIII, 534 S. mit 210 Abbildungen im Text und auf Tafeln sowie zahlreichen Tabellen. 17 × 25 cm. Preis geh. M. 150,—, geb. M. 172,—.

Aus seinen experimentell und theoretisch wertvollen Untersuchungen kennt man *Max Trautz* als einen Forscher von bemerkenswerter Selbständigkeit des Denkens, der eigene Wege sucht und findet und dabei bisweilen sogar etwas eigenwillig erscheint. Es

überrascht daher nicht, daß sein Lehrbuch der Chemie, von dessen drei Bänden der erste kürzlich erschienen ist, sich von allen Überlieferungen ähnlicher Werke frei macht und nach Anordnung des Stoffes und Art der Darstellung sich als ein Werk erweist, mit dem man sich ernsthaft auseinandersetzen muß. Hören wir zunächst den Verfasser selbst: „Dies Buch versucht in drei handlichen Bänden die ganze Chemie zu bringen, nicht etwa vorwiegend bloß die allgemeine, wie man nach der Art der Einteilung vielleicht erwarten könnte. Es entstand aus dem Wunsch, dem Chemiestudierenden einen Ratgeber an die Seite zu stellen, der ihm das wirklich Unentbehrliche der eigenen Wissenschaft und die Brücken zum Notwendigsten in den Nachbargebieten (Physik, Mathematik) weist, ohne irgend erhebliche Vorbildung zu verlangen. Von einem Lehrbuch der Chemie auf neuer Grundlage der Stoffauswahl und der Einteilung darf man sich zum mindesten neue Anregung und jene Belebung des Interesses versprechen, die jedem ungewohnten Lehrgang eigen ist. Es gibt bisher meines Wissens kein Lehrbuch der Chemie, das Darstellende und Allgemeine Chemie in gleicher Weise dem Lernenden nahe bringen will. Aber auch die Lehrbücher der Teilgebiete beginnen in letzter Zeit ihre Anordnung zu ändern. Die Organische Chemie fängt an, die Systematik etwas zurücktreten zu lassen und sich mehr Naturstoffen zuzuwenden. . . .“

„Die Allgemeine (sog. Physikalische) Chemie . . . beginnt z. T. dem heute verbreiteten Hang zum Formalen ihren Zoll zu entrichten. Aber auch ihre breiten, wohlbegründeten Erfahrungsteile verlieren . . . an Übersichtlichkeit. . . .“

„Die Anorganische Chemie endlich hat längst ihre alte Hülle gesprengt und beginnt sich, wie das vorliegende Buch, nach Methoden zu scheiden. . . . Die zunehmende Monotonie der Anorganischen Systematik, die wachsende Abstraktheit der allgemeinen Chemie entstammen demselben Mißgriff, der unnatürlichen Trennung der beiden Gebiete. . . .“

„ . . . nach den praktischen Erfahrungen geht es mit der alten Einteilung, dem alten Umfang der bevorzugten Gebiete und der Zerreißung des Ganzen nicht mehr. . . .“

„Das vorliegende Buch . . . will ein konzentriertes, aufs äußerste gekürztes Lehr- und Lernbuch sein, das darstellt, was sich anderswo nicht in Auswahl und nicht im Zusammenhang findet, will Brücke sein zwischen heute getrennten Gebieten und Arbeitsrichtungen, vereinigen, nicht trennen.“

„Seine Einteilung entspricht auch einem neuen praktischen Unterrichtslehrgang der ganzen Chemie, den Verfasser unter behutsamer Schonung heute bestehender Einrichtungen (vgl. Analytische Chemie) langsam prüfend einzuführen empfiehlt, mangels eigener Gelegenheit hierzu. . . .“

Seit langer Zeit hat niemand es gewagt, das ganze Gebiet der Chemie einheitlich in einem Lehrbuch darzustellen; ob *Max Trautz* der Versuch geglückt ist, wird sich erst beurteilen lassen, wenn das ganze Werk vorliegt.

Der erste Band trägt die Überschrift „Stoffe“; er zerfällt in drei Hauptabschnitte: Stöchiometrie, Elektrochemie, Thermochemie. Da *Trautz* selbst den größten Wert auf die Gruppierung des Stoffes legt und diese in der Tat das Hauptkennzeichen des Buches bildet, so wäre es angebracht, hier das vollständige Inhaltsverzeichnis einzufügen; das ist aber leider nicht möglich, weil es 18½ enggedruckte Seiten einnimmt;



es können also nur die wichtigsten Grundzüge der Anordnung wiedergegeben werden, wobei natürlich viele gleichfalls recht bezeichnende Einzelheiten verloren gehen.

Die *Stöchiometrie* (Elemente und die Verbindungen der Stoffe untereinander) beginnt mit einem Abschnitt über „die Menge des Stoffes“ (4—19<sup>1)</sup>), der die Definition und Messung der „Masse“ schildert und mit dem Gesetz der Erhaltung der Masse bei chemischen Vorgängen abschließt. Im zweiten Kapitel „Homogenität des Stoffes und sein Volumen“ (19—62) werden zuerst Gemenge, Gemische und reine Stoffe gekennzeichnet; es folgt „die Molekularwert und die Raumerfüllung der Gase“, und zwar die allgemeine physikalische Entwicklung des Molekularbegriffes und der Gasgesetze, dann ihre nähere Erläuterung am Beispiel des Wassers und seiner Komponenten. „Die Welt der Atome; Elemente und Verbindungen“ (konstante Proportionen, Atomgewicht, Periodisches System, Absolute Größe von Molekeln und Atomen) schließen das zweite Kapitel und damit den allgemeinen Teil der *Stöchiometrie* ab. — Das dritte Kapitel „Arten des Stoffes und die Mannigfaltigkeit seiner Verbindungen“ (63 bis 231) umfaßt einen großen Teil der „darstellenden“ (präparativen) anorganischen Chemie. Voran stehen die Elemente, und zwar sämtliche Metalloide in ausführlicher Behandlung, die Metalle dagegen nur in einer kurzen Übersicht. Die Besprechung der Valenz leitet zu den Verbindungen über, die in der Reihenfolge: Hydride (105—136), Oxyde (Säuren) (137—185), Sulfide (185—195), Halogenide (195—216), Azide und Cyanide und Sauerstoffsalze (216—232) behandelt werden. Bei den Verbindungen sind Metalloide und Metalle gleichmäßig berücksichtigt. Die Anordnung der Verbindungen in den einzelnen Gruppen entspricht dem periodischen System, jedoch nicht in der üblichen Reihenfolge, sondern beginnend mit der achten und endend mit der ersten Gruppe, wodurch die meisten Metalloide am Anfang vereinigt werden. Die Wertigkeitsstufen der Elemente sind nach Möglichkeit streng getrennt, derart, daß z. B. Oxyde vom gleichen Typus zusammengefaßt und demnach verschiedene Oxyde desselben Elementes in verschiedenen Abteilungen besprochen werden.

Der zweite Hauptabschnitt „*Elektrochemie*“ (237 bis 362) behandelt zuerst die „Grundlagen der Elektrizitätslehre“ rein physikalisch; dann folgen die „Grundlagen der Elektrochemie“ (260—309), eingeteilt in die Abschnitte: 1. Ohmsches Gesetz bei Leitern zweiter Klasse und Polarisation; 2. Wanderung der Ionen und Elektrolytische Dissoziationstheorie; 3. Gesetze von *Faraday* (Stöchiometrie der elektrischen Ionen); 4. Leitfähigkeit der Elektrolyte und Analyse auf Ionen; 5. Analyse der Ionen und Welt der einfachen Ionen (Art der Ionenspaltung, Dissoziationsgrad, Verdünnungsgesetz, Hydrolyse, Löslichkeitsbeeinflussung, Oxydation und Reduktion); 6. Welt der Komplexsalze (Koordinationslehre, Isomeriearten). — Das dritte Kapitel der *Elektrochemie* (309—62) enthält „Analytische und darstellende Elektrochemie“; sein erster Abschnitt umfaßt die Maßanalyse, Elektrolyse, die qualitative Analyse (Reaktionen auf Ionen) und die Gewichtsanalyse; der zweite Abschnitt (Technische Chemie I, Darstellende Elektrochemie) beschreibt die elektrolytische Reinigung und Darstellung der Metalle, die verschiedenen Arten der Chloridelektrolyse und die

Anwendung der Elektrolyse zur Gewinnung von Verbindungen.

Die Einleitung des dritten Hauptabschnittes „*Thermochemie*“ bilden die physikalischen „Grundlagen der Wärmelehre“ (363—389; Temperatur, Wärmemenge, spezifische Wärme, 1. Hauptsatz); es folgen dann die „Grundlagen der Thermochemie“ (Wärmetönung und ihre Abhängigkeit von der äußeren Arbeit, von der Temperatur und von der Stoffnatur; kalorimetrische Methoden der Chemie; 389—410) und die Beziehungen der Wärmetönung zu den elektrischen Erscheinungen (411—419). Den Schluß bildet „Die Welt der hohen Temperaturen, Pyrochemie“ (419—492), worin die „Vorproben“, chemische und elektrische Heizung nebst Feuerungsanlagen, elektrothermische Darstellung von Metallen und Verbindungen, Aluminothermie, die Metallurgie einschließlich der „nassen“ Verfahren sowie Glas und keramische Produkte geschildert werden.

Der besseren Übersicht wegen möge sich an diese Inhaltsangabe des ersten Bandes noch mit des Verfassers eigenen Worten anschließen, was die folgenden Bände bringen werden: „Zustandsgleichungen, Beziehungen zwischen Zusammensetzung und Eigenschaften sowie die ganze Gleichgewichtslehre (Chemische Thermodynamik mit Einführung in die mathematischen Hilfsmittel) füllen den zweiten Band. Anorganische Kolloidchemie, Edelgase, Seltene Erden, Metallographie, Silicatchemie, Elektromotorische Kräfte finden hier Platz. Die analytische Chemie ist mit der Gasanalyse, der Analyse mit Membranfiltern und der Spektralanalyse darin vertreten. Der dritte Band bringt die Raumgitterfragen, die Lehre von der Geschwindigkeit molekularer Vorgänge, elektrochemische Gasreaktionen, Explosionen, Photochemie, Radiochemie. Hier sind die Mischkristalle, die ganze Organische Chemie, in besonderen Kapiteln ihre Kolloide, Katalysen und elektrochemischen Methoden, Immunchemie, Spreng-, Riech- und Farbstoffe behandelt. Mikroanalyse und Analyse auf organische Atomgruppen vertreten die Analytische Chemie in diesem Band.“

Wenn ich das Wesen dieser Gliederung richtig verstanden habe, so wollte *Trautz* ein rationelles System der Chemie schaffen, ähnlich dem nach Energiearten gegliederten System der Physik.

„Man könnte vielleicht schon jetzt den Versuch wagen“, schreibt *Wi. Ostwald* in der Einleitung seiner *Grundlagen der anorganischen Chemie* (1900), „die Chemie von vornherein als eine rationelle Wissenschaft auf Grund einiger Prinzipien aufzubauen und die Beschreibung der verschiedenen Stoffe nur als Erläuterungen dieser allgemeinen Gesichtspunkte einzuführen. Was mich hiervon abgehalten hat, ist nächst dem Bedürfnis des geschichtlichen Zusammenhanges die Erkenntnis gewesen, daß die Mannigfaltigkeit der verschiedenen Stoffe zu groß und ihre Einzelerkenntnis zu wichtig ist, als daß eine solche Darstellung gegenwärtig für den Unterricht sich verwerten ließe.“ Wie zutreffend *Ostwalds* Gründe gegen eine rationelle Systematik auch heute noch sind, erkennt man, wenn man *Trautz*' Buch studiert hat.

Die Chemie ist nun einmal die Lehre von den Stoffen, also ist es auch nur natürlich, daß die Stoffe — in erster Linie die Elemente — die Grundlage der Systematik bilden, zumal da die Zusammengehörigkeit und Ordnung der Elemente nach dem Periodischen Gesetz kaum irgendeinen Zweifel mehr bietet. Die Einordnung der allgemeinen chemischen und physikalisch-chemischen Sätze kann, wie vielfach gezeigt worden ist, ohne erhebliche Schwierigkeiten so vorgenommen

<sup>1)</sup> Zur Kennzeichnung des Umfanges der einzelnen Abschnitte sind in Klammern die Seitenzahlen beigefügt.



werden, daß eine wissenschaftlich und pädagogisch befriedigende Anordnung entsteht. Verfährt man aber umgekehrt — wie *Trautz* — und bringt in dem System der allgemeinen Sätze die Tatsachen der experimentellen Chemie unter, so geht ein großer Teil aller natürlichen Zusammenhänge verloren. Man kann zugeben, daß *Trautz* im großen und ganzen die einzelnen Abschnitte der anorganischen, analytischen und technischen Chemie nicht ungeschickt in die Stöchiometrie, Elektrochemie und Thermochemie verwebt hat; er verfährt durchaus nicht willkürlich, sondern versteht es, zwischen den allgemeinen Gesetzen und dem folgenden Tatsachenkreis logische Fäden zu knüpfen; trotzdem aber bleibt sein System ein *künstliches*, denn die Verknüpfung berücksichtigt nur *eine* Seite der Erscheinungen und läßt alle übrigen, ebenso wichtigen, außer acht. Wenn *Trautz* z. B. die Vorgänge der elektrolitischen Dissoziation in die Elektrochemie einordnet, so erscheint dies Verfahren ganz logisch, und doch befriedigt es nicht völlig, weil er es unterläßt, die zur Begründung der Dissoziationstheorie so wichtigen osmotischen Erscheinungen heranzuziehen. Recht oberflächlich ist auch die Beziehung der „Pyrochemie“ zur Thermochemie; die bei hoher Temperatur sich abspielende Reaktion hat doch zur chemischen Wärmelehre keine andere Beziehung als eine Reaktion bei beliebig tiefer Temperatur!

Vielleicht würde man sich mit der Trautzschen Systematik eher befreunden können, wenn er sich auf die oben entwickelten Gesichtspunkte beschränkt hätte; aber seine Reform erstreckt sich auch auf die meisten Einzelheiten, so daß von dem wohlbegründeten Lehrgebäude der Chemie fast kein Stein auf dem andern geblieben ist. So beginnt er z. B. die Elektrochemie (im engeren Sinne) mit der Polarisation; die Analyse behandelt er in der Reihenfolge: Maßanalyse, Elektrolyse, qualitative Analyse, Gewichtsanalyse. Besonders auffällig tritt die Neigung zur Umgestaltung aller überlieferten Systematik in der anorganischen Chemie auf. Zuerst werden im Zusammenhang sämtliche Elemente — die Metalle sehr knapp — behandelt; dann folgen Hydride, Oxyde, Sulfide, wie oben angeführt. In erster Linie faßt *Trautz* also die Verbindungen nach ihren — meist, aber nicht immer — negativen Bestandteilen zusammen, während man bisher gewohnt war — mit wenigen Ausnahmen —, den positiven Bestandteil, oder mit anderen Worten die charakteristischen Elemente als Grundlage der Einteilung zu benutzen. Innerhalb der Hauptgruppen wird dann als ordnendes Prinzip das Periodische System, jedoch unter Umkehrung der üblichen Reihenfolge, verwendet. Diese Trautzsche Anordnung der anorganischen Verbindungen ist übrigens für den Bewanderten nicht ohne Reiz; sie enthüllt mancherlei sonst verborgene Beziehungen, die besonders in den vielen tabellarischen Zusammenstellungen hervortreten, und gibt so in Kürze eine — allerdings unvollkommene — „Anorganische Chemie in vergleichender Darstellung“, die wir sonst noch kaum besitzen. Daß die einzelnen Wertigkeitsstufen scharf getrennt behandelt werden, halte ich für einen Vorzug, der aber auch in anderer Weise erreicht werden könnte, ohne daß man dabei die gleichfalls sehr wichtigen Beziehungen der einzelnen Wertigkeitsstufen desselben Elements zueinander vernachlässigte.

Wenig befriedigend erscheint mir die Behandlung der Metalle; nach einer ganz kurzen allgemeinen Übersicht werden ihre Haupteigenschaften in der großen Tabelle des Periodischen Systems zusammengestellt; dann folgen ihre Verbindungen in der oben angegebenen

Reihenfolge. Die Darstellungsmethoden der Metalle im einzelnen werden z. T. bei der technischen Elektrochemie, z. T. viel später bei der technischen Pyrochemie beschrieben. Diese *Gruppierung nach Methoden* bedingt Unvollständigkeit und Einseitigkeit der Angaben. Ihre allgemeine Durchführung, die *Trautz* für besonders wertvoll zu halten scheint, offenbart einen Mangel an geschichtlichem Verständnis. Jede neue, erfolgreiche Methode wird schnell von der gesamten Wissenschaft nach allen Richtungen ausgebeutet; es entwickelt sich daraus scheinbar ein neuer Wissenszweig; in dem Maße aber, wie die Methode an Ergiebigkeit einbüßt und so „aus der Mode kommt“, ordnen sich ihre Ergebnisse allmählich und unauffällig in das Gesamtsystem ein, und das ist gut und richtig. Die Aufgabe des elementaren Lehrbuches ist es, den Gesamtbestand der Wissenschaft *einheitlich* darzustellen, nicht aber einzelne gerade moderne Methoden herauszuheben und abzusondern. Pyrochemie, Silicatchemie, Seltene Erden oder Edelgase führen kein selbständiges Leben; sie sind Teile des Chemieorganismus, und erst im Zusammenwirken mit dessen anderen Organen an der richtigen Stelle lassen sie ihre Sonderfunktionen deutlich erkennen. — Daß die von *Trautz* benutzte Systematik nicht überall streng durchführbar ist, darf nicht als Fehler betrachtet werden; ich wüßte keine Anordnung in der Chemie, die nicht an dieser oder jener Stelle aus sachlichen oder pädagogischen Gründen durchbrochen werden müßte.

Im *Umfange* und in der *Auswahl* des dargebotenen Stoffes hält *Trautz* sich meist in den gewohnten Grenzen; die Abschnitte über allgemeine Erscheinungen und Gesetze sind viel ausführlicher als die rein beschreibenden Teile, gehen aber im wesentlichen nicht über den Rahmen des elementaren Lehrbuches hinaus. Wenn die Angaben über die einzelnen Stoffe häufig etwas dürftig erscheinen, so liegt das vielfach daran, daß infolge der ganzen Anordnung von ein und demselben Stoff an mehreren Stellen gesprochen werden muß, wobei dann Daten, die man sonst an einem Orte zu finden gewohnt ist, in verschiedenen Abschnitten auftreten; man darf wohl vermuten, daß die noch fehlenden Bände mancherlei Einzelheiten bringen werden, die man im ersten vermißt. Hervorgehoben sei die gründliche Beseitigung aller veralteten Verfahren, Beschreibungen usw., an deren Stelle zeitgemäße Angaben getreten sind.

Von einigen kleinen Irrtümern und Unebenheiten abgesehen, ist die *sachliche Darstellung* des behandelten Stoffes im einzelnen einwandfrei und zuverlässig, wie es sich bei einem so klugen und kenntnisreichen Forscher wie *Trautz* fast von selbst versteht. Eine in Chemiebüchern ungewohnte Sorgfalt ist den physikalischen Größen — insbesondere ihren Dimensionen — gewidmet<sup>2)</sup>. Es fehlt nicht an kritischen Bemerkungen und feinsinnigen Betrachtungen, die den selbständigen Denker verraten und zur eigenen Mitarbeit des Lesers anregen. Betrachte ich jedoch die Art der

2) Einem Vorschlage von *Lenard* folgend, benennt *Trautz* die Einheit der elektrischen Stromstärke nicht, wie allgemein üblich „Ampère“, sondern „Weber“. Da die maßgebenden Kreise von Wissenschaft und Technik nach wie vor an der Bezeichnung Ampère festhalten, so könnte das Vorgehen von *Trautz* eine schlimme Verwirrung anrichten, wenn er nicht so vorsichtig gewesen wäre, überall dem „Weber“ in Klammern „Amp.“ hinzuzufügen; und so heißt nun hier durchweg die Einheit der Stromstärke „Weber (Amp.)“, was auch nicht gerade zweckmäßig erscheint.



Darstellung vom Standpunkte des Pädagogen — und das ist berechtigt, weil das Buch für Anfänger bestimmt ist —, so kann ich ihr im allgemeinen nicht die gleiche Anerkennung zuteil werden lassen. Bei der Entwicklung der Sätze der allgemeinen und physikalischen Chemie — soweit sie mit der Atom- und Molekulartheorie zusammenhängen — benutzt *Trautz* vielfach ein Verfahren, das man wohl am richtigsten durch die Worte „deduktiv-dogmatisch“ kennzeichnen kann. Die fraglichen Sätze erscheinen nicht als Erfahrungsergebnisse, die durch die Atomistik ihre Deutung finden, sondern als Folgerungen der Atomistik, die durch die Erfahrung bestätigt werden. Das Gesetz von den konstanten und multiplen Proportionen tritt als Folgerung aus dem Atombegriff auf; den Gasgesetzen geht die kinetische Gastheorie voraus und dient zu ihrer Begründung; *Avogadros* Gesetz wird zunächst als Dogma vorgetragen; die Gesetze des elektrolytischen Leitvermögens und der Wanderung der Ionen werden durch molekulare Betrachtungen gefunden usw. Bei aller Bewunderung für die Leistungen der älteren und neueren Atomistik bin ich doch der Meinung, daß dies Vorgehen verfehlt ist. Wenn die heutige Naturwissenschaft die *Erfahrung* — nach *Plancks* Ausdruck — als höchste Instanz betrachtet, so müssen auch die erwähnten Gesetze als Erfahrungssätze die Grundlage aller Erörterungen bilden, und das nicht unmittelbar sinnlich Wahrnehmbare — die Atomistik — darf nur zur Zusammenfassung, als Theorie der Erscheinungen und als heuristisches Prinzip dienen. Der ohnehin schon starken Neigung des Anfängers, Theorie, Hypothese und Erfahrung zu vermischen, darf ein elementares Lehrbuch einer induktiven Wissenschaft nicht Vorschub leisten. Dieser Standpunkt steht keinesfalls in Widerspruch zu der von *Trautz* verlangten und in der Anordnung des Stoffes zum Ausdruck gebrachten wechselseitigen Durchdringung von systematischer (beschreibender) und allgemeiner Chemie. Ich halte vielmehr die Durchleuchtung der experimentellen Chemie mit den Ergebnissen der allgemeinen Chemie für eine der wichtigsten Aufgaben eines modernen Lehrbuches und bin deswegen überrascht gewesen, daß *Trautz* seine eigene Forderung hier so wenig erfüllt hat. An keiner Stelle des beschreibenden Teiles ist der Versuch gemacht, die Erscheinungen den allgemeinen Gesetzen unterzuordnen. Systematische und allgemeine Chemie sind ineinander geschachtelt, aber sie sind nicht miteinander verwachsen. Dieser Mangel scheint wiederum zum großen Teile durch die Systematik bedingt zu sein; weil die Thermochemie erst im dritten Abschnitt des ersten Bandes behandelt wird, kann im Hauptteil der anorganischen Chemie keine Wärmetönung erwähnt werden; weil die Gleichgewichtslehre erst im zweiten Bande folgt, muß der Begriff des Gleichgewichtes — mit einer Ausnahme — im ganzen ersten Bande vermieden werden. Ähnliche Beispiele lassen sich in beliebig vieler Zahl nennen.

In den beschreibenden Teilen fällt gelegentlich eine gewisse Ungleichmäßigkeit der Darstellung auf, die durch *Trautz'* Vorliebe für das Moderne bedingt zu sein scheint; so ist z. B. die Herstellung der Schwefelsäure nach dem Kammverfahren auf einer knappen halben Seite behandelt, ohne Angabe der sich dabei abspielenden chemischen Vorgänge, ohne jede Formel und ohne Abbildung, während dem Glas 9 Seiten — davon eine Seite den gefärbten Gläsern — gewidmet sind, und dem Carborund mehr als  $1\frac{1}{2}$  Seiten zufallen. Überhaupt wird von *Trautz* die Kunst des Lehrens, das Wesent-

liche durch breite Darstellung, durch Wiederholung, durch Beispiele in den Vordergrund zu rücken, das Unwesentliche nur anzudeuten, nicht genügend geübt; das ist mir besonders aufgefallen bei dem Gesetz der konstanten und multiplen Proportionen, dem Fundamentalgesezt, dem allein die Chemie die Würde einer selbstständigen Wissenschaft verdankt; bei *Trautz* wird das „berühmte“ Gesetz auf wenigen Zeilen erledigt, und ich bezweifle lebhaft, daß der Lernende auf diese Weise eine Vorstellung von dem Inhalt und seiner Bedeutung erlangt. Dagegen werden Nebendinge (z. B. die Diskussion der Landoltischen Präzisionswägungen auf S. 9, bevor der Schüler noch irgendwelche Stoffe oder Reaktionen kennen gelernt hat!) oft recht breit behandelt. *Trautz* hat es vielfach nicht verstanden, seiner lebhaften Phantasie und seinem reichen Wissen Zügel anzulegen.

Von einer Aufzählung der bereits erwähnten wenig zahlreichen geringfügigen sachlichen Unebenheiten kann abgesehen werden; dagegen möchte ich noch auf einige mehr äußerliche Dinge hinweisen: Auffällig ist das Fehlen jedes Literaturzitates; es werden zwar gelegentlich einige Namen genannt, aber sie führen den Lernenden nicht auf die Quellen. Natürlich kann in einem elementaren Lehrbuch nicht jede Tatsache durch Literaturnachweise belegt werden; aber die besonders wichtigen sollten auch als solche durch Namen, Jahreszahl und Zitat hervorgehoben werden, schon deswegen, weil die mit bestimmten Erscheinungen und Stoffen verbundenen Autorennamen ganz vorzügliche Anknüpfungspunkte bieten, wenn der Studierende beginnt, die Zeitschriftenliteratur zu benutzen. Wenig zweckmäßig ist es auch, in einem derartigen Lehrbuch bei wichtigen Versuchsmethoden und dergl. auf ein anderes Werk desselben Verfassers zu verweisen. —

Die dem Werke eingefügten zahlreichen Tabellen geben vorzügliche vergleichende Übersichten; ihr Format (bis zu  $55 \times 47$  cm) ist aber sehr unhandlich und erschwert die Benutzung; sie werden beim Herausklappen auch leicht beschädigt und dadurch unansehnlich werden. — Die Figuren, die vorwiegend die technische Chemie erläutern, sind durchweg gut, aber nicht immer (z. B. bei den Vakuumpumpen) hinreichend ausführlich erklärt.

Wie sich aus dem letzten Satz des oben angeführten Auszuges aus dem Vorwort ergibt, wünscht der Verfasser nicht nur eine völlige Umgestaltung des theoretischen, sondern auch des praktischen Chemieunterrichtes. Wie er die Vorlesungen gestaltet, wissen möchte, hat er in seinem Buche gezeigt; über die Form der Übungen aber, die diesen Vorlesungen entsprechen, macht er keinerlei Andeutungen.

Die äußerst radikalsten Umsturzpläne für den Chemieunterricht stehen in einem bemerkenswerten Gegensatz zu einem — ganz beiläufigen, aber charakteristischen — Gedanken des Verfassers (S. 2). Er fordert den Schüler auf, die klassischen Forschungsarbeiten zu studieren: „Man lernt dabei einsehen, welch außerordentliche Verschiedenheiten zwischen Charakter und wissenschaftlicher Veranlagung verschiedener Völker bestehen. Diese Einsicht bekräftigt dann die notwendige Erkenntnis, daß die lebenswichtigen Wurzeln jedes Volks nicht in theoretischen „Vernunft“konstruktionen, sondern allein in der zäh festgehaltenen Überlieferung seiner eigenen Geschichte liegen.“ Sollte nicht das Wahre, das in diesen Worten steckt, auch für das Volk der Chemiker gelten? Das deutsche System des chemischen Unterrichtes ist aus der lang-



jährigen gemeinsamen Arbeit unserer besten Köpfe erwachsen; es ist elastisch genug, um sich der Individualität des Lehrers und des Schülers anpassen zu können. Offenbare Mängel — die einseitige Bevorzugung der Analyse beim Praktikum — sind bereits erkannt und z. T. beseitigt. Ich glaube, ein Unterrichtssystem, das die Generationen der Männer erzogen hat, die die deutsche Chemie in der Welt zu Ehren bringen konnten, wird nicht so ganz schlecht sein, daß es von Grund auf umgestaltet werden müßte.

I. Koppel, Berlin-Pankow.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Zellentartung und Entwicklungsbeschleunigung.

Es soll hier in Kürze über eigenartige Zellprozesse berichtet werden, die sich im Eierstock etwa drei Wochen alter Kätzchen anscheinend regelmäßig finden und die meines Wissens bisher noch unbekannt sind. Diese Prozesse zeigen sich in der Oocyte (Eimutterzelle) und zwar neben und zum Teil überdeckt von Vorgängen, die sich den bekannten Formen der Kernentartung: Karyolyse, Karyorhexis, Karyopyknose einordnen lassen, sie selbst aber sind nichts anderes als das außerordentlich verfrühte Auftreten der Chromatinreifung, also einer Erscheinung, die normalerweise erst am Ende des Eiwachstums im vollentwickelten Graafischen Follikel sich vollzieht, in unserem Falle aber noch innerhalb des ersten Abschnitts der Wachstumsperiode (bereits vor Ausbildung des Primärfollikels) im Anschluß an das sogenannte Diplotaenstadium erfolgt. Die vorzeitige Chromatinreifung betrifft nur einen kleinen Teil der Oocyten, ist aber, nachdem man sie einmal erkannt hat, keineswegs sehr selten aufzufinden. Im einzelnen handelt es sich um die Entwicklung der typischen Prophase der ersten Reifungsteilung (Diakinese) mit den bekannten Ring-, Achter-, Kreuz- usw. Figuren der Chromosomen und die sich anschließende, allerdings in verschiedener Hinsicht abnorme erste Reifungsmitose (unregelmäßige Lagerung der Chromosomen, rudimentäre Ausbildung oder Fehlen der achromatischen Spindel u. a.). Die Chromosomen sind, soweit meine Erfahrung reicht, annähernd entweder in der reduzierten (ca. 20) oder in der unreduzierten Zahl (ca. 40) vorhanden, welche letztere auf irreguläre Kernvorgänge in vorhergehenden Zellgenerationen deutet. Über die Metaphase der ersten Reifungsteilung, die bemerkenswerterweise mehrfach der Zelloberfläche genähert lag und so an das Verhalten der entsprechenden Richtungsspindel erinnerte, scheint der Prozeß nicht hinauszugehen, sondern sich eine Verklumpung der Chromosomen zu einzelnen Chromatinhaufen und damit die endgültige Entartung der Zelle anzuschließen. Weitgehende Entartungserscheinungen können aber auch in alle früheren Stadien der vorzeitigen Chromatinreifung eingreifen und so zu sehr verschiedenen Bildern führen, die schließlich in eine der typischen Formen der Kernentartung hinüberleiten, ganz fehlen solche Erscheinungen selbst nicht in den schönsten Bildern der Diakinese. Die Entartungsvorgänge an der Oocyte gehören in das Gebiet der sogen. physiologischen Degeneration, da bei der Katze regelmäßig die ursprünglichen Rindenstränge des Eierstocks und ihre Derivate ganz oder zum großen Teil wieder zugrunde gehen.

Die nächstliegende Deutung der geschilderten merkwürdigen Bilder — auf andere Deutungsmöglichkeiten

soll bei späterer Gelegenheit eingegangen werden — scheint mir die zu sein, daß bei der Zellentartung auftretende Zersetzungsprodukte entwicklungsbeschleunigend wirken, im Sinne der Theorie G. Haberlandts von den Wund- und Nekrohormonen<sup>1)</sup>. Schon seit Flemming (1885) wird die Ansicht vertreten, daß das bei der Atresie (Rückbildung) Graafischer Follikel beobachtete verfrühte Auftreten der Reifungsteilungen (Ansätze zu einer wirklichen Parthenogenese sind noch nicht sichergestellt) mit Stoffen zusammenhängt, die in dem chromatolytisch zerfallenden Follikel-epithel gebildet werden. In unserem Falle, wo die Entwicklungsbeschleunigung so außerordentlich viel früher erfolgt, müssen wir den sie auslösenden Reiz in den „Degenerationsstoffen“ der Oocyte selbst suchen, da die in der Nähe liegenden Epithelzellen stets normal sind und derartige Oocyten in anscheinend völlig entartungsfreier Umgebung liegen können (Haberlandt hat für vegetative Pflanzenzellen experimentell gezeigt, daß das Wundhormon in der zur Teilung angeregten Zelle selbst gebildet werden kann). Man wird sich vielleicht vorstellen dürfen, daß nur bei einer gerade richtig „dosierten“ Wirkung der Entartungsstoffe die Entwicklungsbeschleunigung zutage tritt, bei zu starker Konzentration dieser Stoffe aber sogleich eine der typischen Kernentartungen einsetzt. Die Frage, ob und wie die in degenerierenden oder pathologischen tierischen Körperzellen bei der Mitose beschriebenen „Viergruppen“ sich mit unseren Beobachtungen in Zusammenhang bringen lassen, würde an dieser Stelle zu weit führen. Bemerkenswert ist, daß von pathologisch-anatomischer Seite auf die Ähnlichkeit gewisser Vorgänge bei der Karyorhexis mit der normalen Mitose hingewiesen wurde; man wird den Gedanken nicht von der Hand weisen dürfen, daß vielleicht auch bei Körperzellen die Entartung einen Entwicklungsvorgang in Form einer rudimentären Mitose auszulösen vermag. Eine ausführlichere, mit Abbildungen versehene Darstellung unserer Befunde an der Katzenoocyte soll an anderer Stelle erscheinen; dort werden auch einige Angaben der neueren Literatur Besprechung finden, die eine entwicklungsbeschleunigende Wirkung der Entartung auf Protoplasmaprozesse in Keimzellen wahrscheinlich machen.

Anatom.-biolog. Institut Berlin, 1. August 1922.

S. Guthertz.

### Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

Zur Geschichte des optischen Glases. (W. Zschokke Ztschr. f. Instrknde, 1922, 42, 208/15, Juliheft.) Es ist sehr erfreulich, daß hier von schweizerischer Seite neue Angaben zu den Schicksalen von P. L. Guinand, seinen Angehörigen und der mit ihm zusammenhängenden schweizerischen Glashütte bekanntgemacht werden. Da ich über diese Gegenstände einiges veröffentlicht habe — mein letzter Beitrag in der DOW im Jahre 1916 scheint dem Verf. unbekannt geblieben zu sein; man sehe diese Zeitschr. 1916, 4, 323/4 —, so möchte ich hier die Berichtigungen und Erweiterungen früherer Arbeiten anführen, die ich diesem Aufsätze verdanke. Wenn man P. L. Guinands Leben zwischen dem 20. April 1748 und dem 12. Februar

<sup>1)</sup> G. Haberlandt, Über Zellteilungshormone und ihre Beziehungen zur Wundheilung, Befruchtung, Parthenogenese und Adventivembryonie. Biol. Zentralbl. Bd. 42, 1922. (Zusammenfassende Darstellung.)

1824 verlaufend annimmt, so erhält man für den Anfang eine vorher schmerzlich vermißte Genauigkeit, während der Todestag nur ganz unbedeutend verschoben wird. Daß ein aus Bern stammender Hauptmann *Gruner J. Utzschneider* nicht nur mit *G. Reichenbach* und *J. Liebherr* zusammengebracht, sondern ihn auch auf *P. L. Guinand* aufmerksam gemacht habe, wird man sich merken können. Die Daten zum Leben der beiden Guinandschen Söhne *Henri* (geb. 11. Januar 1771, gest. 1851) und *Aimé* (geb. 17. April 1774, gest. 1847) waren mir vorher nicht bekannt; ihre Altersfolge ergibt sich danach gerade umgekehrt, wie ich früher angenommen hatte. Daß *Théodore Daguet* nicht der Schwiegersohn *Aimé Guinands* war, wie ich 1909 — ich weiß nicht mehr, worauf gestützt — angegeben habe, muß ich natürlich hervorheben. Der Zeitpunkt der Verlegung der schweizerischen Glashütte von *Les Brenets* nach *Solothurn* wird mit dem 14. März 1831 genau angegeben, während er sich vorher nur zwischen 1829 und 1834 hatte einschließen lassen. Bemerkenswert ist es, daß bei dieser Verlegung *P. L. Guinands* Witwe nur mit *Th. Daguet* zusammen tritt; schon 1834 erscheint in *Berthei* ein dritter Gesellschafter, der nach dem Payenschen Bericht von 1839 bei der Leitung der Hütte tätig gewesen sein mag, da er ebenso wie die Witwe *Guinand* mit einer Schaumünze aus Platin bedacht wurde. Schließlich erfährt man, daß *Th. Daguet* im Frühjahr 1857 seine letzte Schmelze ausgeführt habe; man wird danach annehmen müssen, daß sich die Beziehungen *H. Schröders* (geb. 18. Oktober 1834, gest. 31. Oktober 1902) zu ihm hauptsächlich in der Zeit abgespielt haben, wo die alte Solothurner Hütte nicht mehr in Betrieb stand.

M. v. Rohr.

**Über das Plankton schlesischer Talsperren.** (*Br. Schröder*, Vortrag, gehalten in der bot.-zool. Sektion der Schles. Gesellsch. f. vaterl. Kultur zu Breslau am 9. II. 22.) Die Erforschung der biologischen Verhältnisse der Talsperren in Schlesien war bisher völlig vernachlässigt. Es handelt sich dabei um drei größere künstliche Staubecken im sudetischen Berglande in 300 m Meereshöhe, nämlich um die Talsperren des *Queißes* bei Marklissa, des *Bobers* bei Mauer und der *Weißtritz* bei Breitenhain, die sämtlich wegen ihrer kahlen Ufer, der ungliederten Böschung, der eigentümlichen Abflußverhältnisse und der durch Industrieabwässer verunreinigten Zuflüsse einen gänzlich neuen Typus stehender Gewässer darstellen, in dem sich auch eine spezifische Flora und Fauna entwickeln dürfte. In Planktonproben vom August bis Oktober 1921 fand der Vortragende in den obengenannten Talsperren 47 pflanzliche und tierische Schwefelformen. Durch das Auftreten von zwei Wasserblüten von *Schizophyceen*, durch das relativ reichliche Vorkommen von Kieselalgen und von Copepoden erweist sich dieses Plankton als ein *Seen- oder Limnoplankton* im Gegensatz zum Teich- oder Heloplankton, in dem Chlorophyceen und Rädertiere vorherrschen. Da die Zuflüsse zu den Talsperren planktonleere Bergwässer sind, so können die in den Staubecken gefundenen Planktonorganismen nur aus Seen verschleppt worden sein, wobei hauptsächlich *Schwimmvögel* in Betracht kommen. Bezüglich der *fischereilichen Ausnutzung* der Talsperren wurde hervorgehoben, daß zwar Fischnahrung für die mit dem Zuflußwasser einwandernden Fische genug

vorhanden, daß aber ihre Bevölkerungsdichte nur eine geringe ist und es sich empfehlen würde, mehr hochwertige Fische in die Talsperren auszusetzen. Allerdings ist eine rationelle alljährliche Abfischung mit einem großen Zugnetze nicht möglich, weil beim Bau der Talsperren aus Sparsamkeitsrücksichten auf den Grunde der Staubecken Baumstubben und sogar Mauerreste von Gebäuden stehen gelassen wurden, so daß man auf Stellnetze, Reußen und Angeln angewiesen ist, die nur verhältnismäßig wenig Ertrag liefern. — Von den *rheinisch-westfälischen Talsperren* unterscheiden sich die schlesischen durch das Auftreten von blaugrünen Wasserblüten, echten Plankton-Melosiren und von *Fragilaria Krotensis*, wodurch sich das Plankton der schlesischen Talsperren dem der norddeutschen Seen und der Seen der Schweiz nähert. Dagegen wurden Arten von *Dinobryon* und *Gymnodinium*, die in den Staubecken des Rheinlandes und Westfalens oft häufig vorkommen, bis jetzt in den Talsperren Schlesiens nicht gefunden. Durch Mikrophotogramme wurde die jeweilige Zusammensetzung des Planktons der einzelnen schlesischen Talsperren veranschaulicht. Genaueres darüber im Archiv f. wissenschaftliche und praktische Mikrobiologie, Heft 1, Berlin 1922.

Br. Schröder.

**Ionentheorie der Reizung des Gehörorgans** (*P. Lasareff*, Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 193, H. 1, S. 1—6; 1921.) Verfasser hat früher eine Ionentheorie der Reizung aufgestellt und daraus sowohl die Gesetze der Reizung von Muskeln und Nerven, als auch des Auges beim Dunkelsehen aufgestellt. Vorausgesetzt war, daß die Schwellenerregung durch ein gewisses Verhältnis der Konzentration der erregenden Ionen  $C_1$  und der erregungshemmenden Ionen  $C_2$  bestimmt ist, wobei  $C_1/(C_2 + C_0) = K$ . ( $C_0$  und  $K$  sind Konstanten.) Jetzt wendet er dieses Loeb'sche Gesetz auf das Gehörorgan an. — Es wird angenommen, daß die auf den schwingenden Cortischen Fäden befindlichen Zellen mit einer für Schallschwingungen empfindlichen Substanz versehen sind, welche durch mechanische Schwingungen chemisch zerlegt werden kann. Erst die Reaktionsprodukte reizen die Nerven. Es gibt eine Schwingungsperiode, für welche die für die Zerlegung erforderliche Energie ein Minimum erreicht. Nach zahlreichen Hypothesen, die nicht kurz referiert werden können (z. B. daß die auf die Fäden übertragene Energie der Schwingungszahl proportional sei; daß die phonochemische Zerlegung eine monomolekulare Reaktion sei; daß sich in der Ruhe eine entgegengesetzte gleichen Charakters abspiele), ergeben sich folgende Formeln: Die Empfindlichkeit  $E$  des Ohres nach starker Schalleinwirkung stellt sich wieder her nach der Gleichung  $E = E_0(1 - e^{-\beta t})$  ( $E_0$  = Empfindlichkeit nach langer Stille,  $\beta$  eine Konstante). (Gleichung der Gehörs-Adaptation.) Für die Herabsetzung der Empfindlichkeit durch einen mittelstarken Schall erhält man die Gleichung  $E = A + B e^{-Rt}$  ( $A$ ,  $B$  und  $R$  sind bei konstanter Tonstärke konstant). Diese Gleichungen werden an mehreren Versuchspersonen mit einem Ton von der Frequenz 692, der durch einen Röhrensender erzeugt und dem Ohre telephonisch zugeleitet wird, geprüft und recht gut bestätigt. Intensitätsmessung des Stromes durch ein Thermoelement; es wird angenommen, daß der Schall dem Stromquadrat proportional sei.

M. Gildemeister, Berlin.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaften

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 36. (Seite 775—798)

8. September 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Über Nomographie. (Mit 10 Abbildungen.) Von *Ludwig Bieberbach, Berlin.* S. 775.

Der gegenwärtige Stand der geologischen Forschung: Der innere Kräftehaushalt der Erde. Von *S. von Bubnoff, Breslau.* S. 782.

### Besprechungen:

Tschulok, S., Deszendenzlehre (Entwicklungslehre). Von *A. Fischel, Wien.* S. 789.

Naef, Adolf, Die fossilen Tintenfische. Von *K. Ehrenberg, Wien.* S. 790.

Hofmann, Karl M., Lehrbuch der anorganischen Chemie. S. 791.

### Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Die Entstehung des physiologischen Eindrucks des Glanzes. Von *Joseph Bergfried Eßlen, Göttingen,* und *E. M. v. Hornbostel, Steglitz.* S. 791.

Über die Möglichkeit der räumlichen Quantelung von angeregten Wasserstoffatomen im Magnetfeld. Von *H. Rausch von Traubenberg, Göttingen.* S. 791.

Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien 1921: Sitzungen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse. S. 792—798.



# GOERZ

## Polarisations-Apparate

für wissenschaftliche Zwecke

★

*Äusserste Stabilität  
Vorzügliche Optik*

★

Katalog kostenfrei

**Optische Anstalt C. P. GOERZ Aktiengesellschaft**  
**BERLIN-FRIEDENAU**

**Die Naturwissenschaften**

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 100.— für das dritte Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 9.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 18.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck: für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20120 Julius Springer,  
Konten: für Anzeigen, Beilagen und Bücher: Bezug: Berlin Nr. 118935 Juli 15  
Springer.

## Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu kaufen gesucht. Angebote unter  
Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

## Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

**J. D. Möller, Wedel in Holstein.**  
Gegründet 1864. (294)

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Soeben erschienen:

# Die Nomographie oder Fluchtlinienkunst

Ein technischer Leitfaden

von

**Fritz Krauss**

Ingenieur in Wien

Mit 26 Textfiguren (VIII, 56 S.)

Preis M. 42.—

### Inhaltsverzeichnis:

I. Arithmetisches und geometrisches Mittel. Logarithmische Teilungen. — II. Der allgemeine Fall für parallele Maßstäbe. Funktionsskalen. Der Entwurf des Nomogrammes. — III. Die Richtung der Skalenbezeichnung. Nomogramme für mehr als drei Veränderliche. Unbezeichnete Hilfslinien. — IV. Unendlich ferne Zapfenlinien. Parallele Fluchtlinien. Kreisbögen als Skalenträger. — V. Kreisförmige Nomogramme. — VI. Schräge Skalen. Beispiele. — VII. Projektive Teilungen. Kombinierte Nomogramme. Beispiel. Hilfsfunktionen. — VIII. Veränderliche Lage eines Skalenträgers. Beispiele. — IX. Die Trennung der Veränderlichen. Typische Fälle. — X. Der geometrische Zusammenhang der Skalenträger. Kartesische Koordinaten der Fluchtpunkte. — XI. Der Schlüssel der Nomogramme. Krummlinige Skalenträger. Quadratische Gleichungen. — Schlußwort.



## Über Nomographie\*).

Von Ludwig Bieberbach, Berlin.

Wie ihr Name sagt, stellt es sich die Nomographie (*νόμος* = Gesetz) zur Aufgabe, auf dem Wege der Zeichnung die gesetzmäßigen Abhängigkeiten zwischen Veränderlichen zur Darstellung zu bringen; und zwar zwischen drei und mehr Veränderlichen. Es handelt sich also dabei um Weiterführungen der allgemein bekannten graphischen Darstellung der Funktionen von zwei Veränderlichen. Hier ist ja besonders die Darstellung durch eine Kurve in einem gewissen Koordinatensystem im Gebrauch. Deutet man z. B. die beiden Veränderlichen als rechtwinklige Koordinaten in einer Ebene, so wird die Abhängigkeit zwischen beiden durch eine in dieser Ebene aufgezeichnete Kurve gestiftet. Man findet zu einem gegebenen Wert von  $x$  den zugehörigen Wert von  $y$ , indem man von dem betreffenden Punkt der  $x$ -Achse parallel zur  $y$ -Achse auf die Kurve heraufgeht, um dann vom so erhaltenen Punkt parallel zur  $x$ -Achse auf die  $y$ -Achse zu wandern, wo man dann den gesuchten Wert von  $y$  ablesen kann.

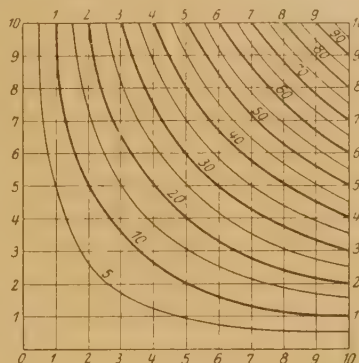
Es ist bekannt, daß man sich zur Ausführung einer solchen Zeichnung gerne des *Millimeterpapiers* bedient. Und es ist wohl auch heute in vielen Gebieten allgemein geläufig, sich auch der anders geteilten Papiere, z. B. der *Logarithmenpapiere* und ähnlicher zu bedienen, wie sie die Fa. Schleicher und Schüll seit langem in den Handel bringt. Der Vorteil, den diese Papiere bieten, liegt darin, daß man auf ihnen manchen Zusammenhang durch gerade Linien zur Darstellung bringen kann, der auf gewöhnlichem Papier weniger bequem zu verzeichnende Kurven verlangt. Das Prinzip der Verwendung solcher Papiere soll, obwohl es allgemein geläufig sein dürfte, kurz erwähnt werden: Genau wie auf dem logarithmischen Rechenschieber sind auf den Kanten des Papiers die Logarithmen der angeschriebenen Maßzahlen abgetragen:  $\log x = \xi$ ,  $\log y = \eta$ . Auf solchem Papier wird dann z. B. die Funktion  $y = \frac{1}{x}$  durch eine gerade Linie dargestellt,

da  $\log y = \log \frac{1}{x}$  als die Gerade  $\eta = -\xi$  oder  $\eta + \xi = 0$  erscheint.

Nahe liegt der Gedanke, die Benutzung der Kurve, die uns eben den Zusammenhang zwischen den beiden Veränderlichen stiftete, zu vermeiden. Man braucht ja nur etwa unter die  $x$ -Achse an

die einzelnen Punkte die Werte von  $x$  selbst und darüber gleich die Werte von  $y$  zu schreiben. Man erhält dann auf der Oberseite der  $x$ -Achse eine sogenannte Funktionsskala, wie sie uns gerade vorher schon an den Rändern des Logarithmenpapiers oder auf den Skalen des Rechenschiebers begegnete. Doch hat diese *skalenmäßige Darstellung* vor der erstgenannten Methode der Kurvenkreuzung den Nachteil geringerer Übersichtlichkeit, den sie ja mit der ihr nahestehenden rein tabellarischen Aufstellung teilt.

Die bisher genannten Methoden gilt es nun sinngemäß und zweckmäßig auf die Darstellung der Funktionen mehrerer Veränderlichen zu übertragen.



$$x_1 \cdot x_2 = x_3.$$

Fig. 1. In dieser Figur kann als im Text erwähnte  $x_1$ -Achse z. B. die horizontale unterste Gerade, als  $x_2$ -Achse die am weitesten links gelegene vertikale Gerade genommen werden. Auf den gegenüberliegenden Quadratseiten sind die  $x_1$ - und die  $x_2$ -Werte nochmals angegeben. Die  $x_3$ -Werte sind an die eingezeichneten Hyperbeln angeschrieben.

Handelt es sich z. B. darum, eine *Produkten-tafel* herzustellen, also um die Aufgabe, die Funktion  $x_3 = x_1 x_2$  graphisch darzustellen, so kann man zunächst an die mögliche Deutung der drei Veränderlichen als rechtwinkliger Raumkoordinaten denken und die entsprechende Fläche durch Aufzeichnung ihrer Höhenlinien in der  $x_1$ -,  $x_2$ -Ebene zur Darstellung bringen. Man zeichnet also in dieser Ebene außer den Linien  $x_1 = \text{const}$  und  $x_2 = \text{const}$  noch eine Schar mit Nummern versehener *Hyperbeln*  $x_3 = \text{const}$  (Fig. 1). Will man z. B. das Produkt  $2,5 \cdot 3,5$  bestimmen, so hat man im Punkte  $x_1 = 2,5$  senkrecht zur  $x_1$ -Achse empor zu wandern, bis man der Linie  $x_2 = 3,5$  begegnet. Dann hat man abzulesen oder durch Interpolieren festzustellen, welche Nummer die durch den erhaltenen Schnittpunkt gehende Hyperbel besitzt. Diese

\*) Nach einem Vortrag im Ausschuß für technische Mechanik am 31. 10. 1921.

Nummer: 8,75 gibt das Produkt an. — Einer solchen, muß man schon sagen, naiven

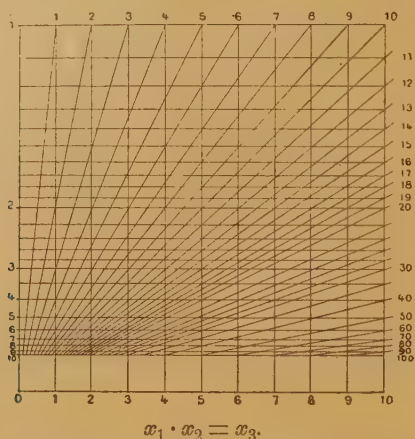


Fig. 2.  $x_1$ -Achse ist wieder die unterste Horizontale,  $x_2$ -Achse die Vertikale am weitesten links. Oben und rechts sind aber jetzt  $x_3$ -Werte angeschrieben.  $x_3$  hat jeweils den angeschriebenen Wert längs der ganzen den betreffenden Punkt mit dem Ursprung verbindenden Geraden.

Lösung der Aufgabe haften aber recht viele Mängel an. Einmal ist es mühsam, eine solche Tafel herzustellen, ferner wird man sich in dem

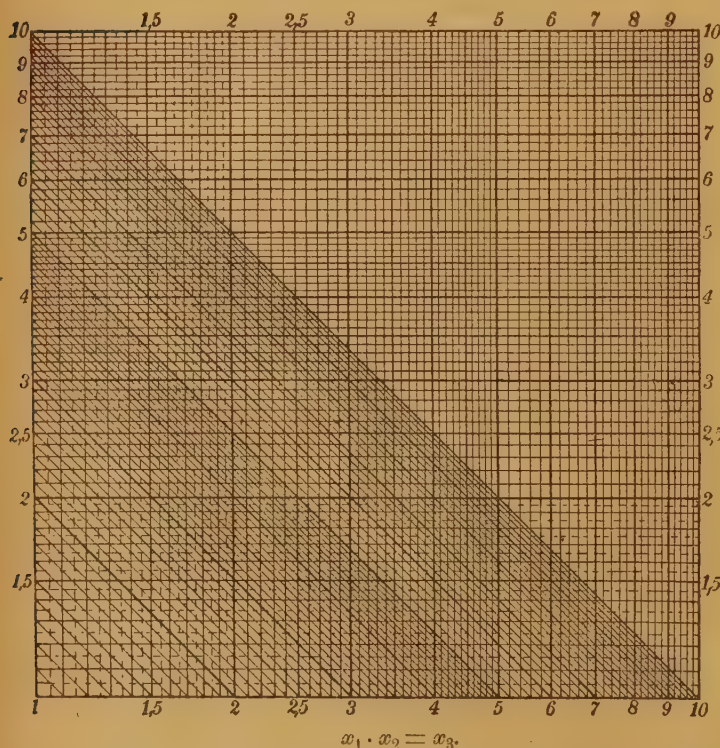


Fig. 3.  $x_1$  liest man links und rechts,  $x_2$  oben und unten,  $x_3$ , das den schiefen Geraden entspricht, unten und links ab.

Gewirr der Linien leicht verheddern und die Augen über Gebühr anstrengen. Ferner ist das Interpolieren in einer solchen Tafel unangenehm und unsicher. Das lehrt schon das angegebene

Beispiel. Zur Behebung dieser Schwierigkeiten kann man verschiedene Wege einschlagen. Man kann sich zunächst einmal starr an den mathematischen Ansatz klammern und das Liniengewirr dadurch mildern, daß man die Parallelen zu den Koordinatenachsen nicht wirklich einzeichnet. Man braucht ja nur zwei zueinander senkrechte Linien auf einem durchscheinenden Blatt zu verzeichnen und dieses Blatt dann in geeigneter Weise je nach dem zu bestimmenden Produkt auf das Hyperbelblatt zu legen. An der Schwierigkeit der Herstellung einer solchen Tafel und an der unsicheren Interpolation wird aber damit noch nichts geändert, wiewohl uns dieses Prinzip der Verwendung durchscheinender Hilfsblätter noch öfters und mit schönerem Erfolg begegnen wird.

Weiter aber liegt es nahe, das Prinzip der Tafel zu ändern. Liegt es doch nahe, z. B. die Veränderlichen  $x_1$  und  $\frac{1}{x_2}$  in der Ebene als rechtwinklige Koordinaten zu deuten. Dann werden die Linien  $x_3 = \text{const}$  nicht mehr Hyperbeln, sondern gerade Linien und man erhält das Nomogramm der Fig. 2, dem freilich die übrigen Mängel noch innewohnen werden, auch wenn das Interpolieren jetzt etwas bequemer geworden sein sollte, dadurch, daß man sich auf der rechten Vertikale und oben die Werte von  $x_3$  noch einmal da verzeichnet hat, wo die zugehörigen Geraden diese Ränder treffen.

Man wird also auch dies Konstruktionsprinzip mit gemischten Gefühlen betrachten. Wesentlich günstiger wird die Sache, sowie man sich Logarithmenpapiers bedient. Sind dann z. B. auf den Papierkanten  $x_1$  und  $x_2$  aufgetragen, so werden die Linien (Fig. 3) eine Schar paralleler gerader Linien, wie schon vorhin gezeigt wurde. Setzt man  $\log x_1 = \xi$ ,  $\log x_2 = \eta$ , so sind diese Geraden  $\xi + \eta = \text{const}$ . Das Interpolieren wird nun leicht, namentlich wenn man eine zu der Schar  $x_3 = \text{const}$  senkrechte Hilfsskala einführt. Aber das Liniengewirr wirkt nach wie vor unangenehm und die Heranziehung eines durchscheinenden Blattes wird man ja auch nicht gerade mit besonderer Freude sehen. Denn daß dadurch eine ziemlich starke Quelle von Ungenauigkeiten hereinkommt, ist nicht zu bestreiten. Ich will bei dieser Methode der Kurvenkreuzung nicht allzulange verweilen, weil sie meiner Ansicht nach schon lange durch die Methode der Fluchtlinientafel überholt ist. Ich will nur das allgemeine Prinzip der Methode der Kurvenkreuzung noch einmal herausstellen: Einer jeden Veränderlichen wird eine Kurvenschar zugeordnet:

$x_1 = \varphi_1(\xi, \eta)$ ,  $x_2 = \varphi_2(\xi, \eta)$  und  $x_3 = \varphi_3(\xi, \eta)$   
 $\xi, \eta$  ist dabei ein rechtwinkliges Hilfskoordinatensystem. Jedem Wert der Veränderlichen  $x_1, x_2, x_3$  entspricht eine Kurve. In Fig. 3 ist z. B.  $x_1 = e^\xi$ ,  $x_2 = e^\eta$ ,  $x_3 = e^{\xi + \eta}$ . Das Prinzip aller solchen Tafeln ist dieses: Der Zusammenhang zwischen den drei Veränderlichen wird dadurch



gestiftet, daß die den *zusammengehörigen* Werten der Veränderlichen entsprechenden Kurven sich in *einem* Punkte treffen. Daher spricht man von dem Prinzip der Kurvenkreuzung, und ich habe angedeutet, welche Geschmeidigkeit immerhin diesem Gedanken innewohnt. Ein begeisterter Vertreter dieser Richtung der Nomographie ist der Dresdener Meteorologe *Schreiber*, der kürzlich erst wieder in einem Büchlein<sup>1)</sup> manche Lanze für diese Methode und die von ihm angeregten Schleicher-Schüllschen Papiere gebrochen hat.

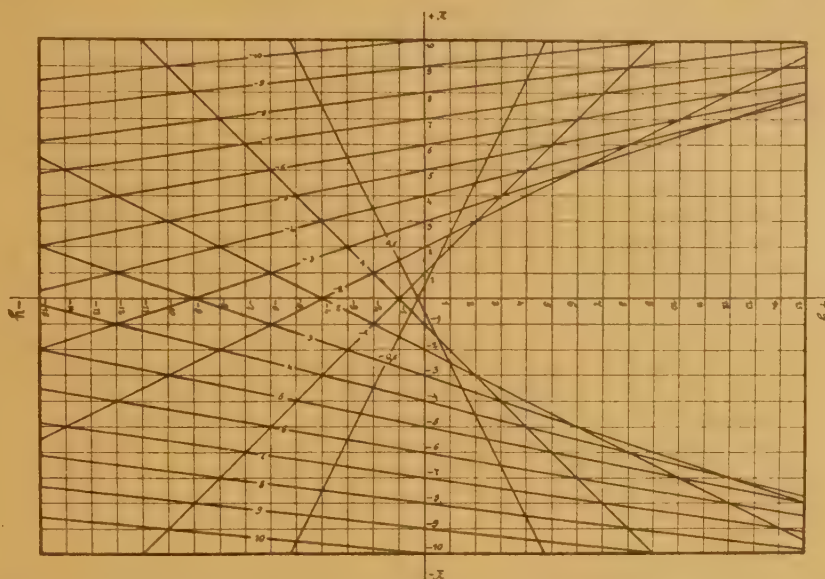


Fig. 4. Um mit Hilfe dieses Nomogramms mit Kurvenkreuzung die Gleichung  $z^2 + xz + y = 0$  nach  $z$  aufzulösen, stelle man zunächst im  $x$ - $y$ -Koordinatensystem den Punkt fest, dessen Koordinaten den gegebenen Gleichungskoeffizienten gleich sind. Dann sehe man, welche schiefen Geraden durch diesen Punkt gehen. Die an denselben stehenden Zahlen geben die Wurzeln an.

Aber das Bessere ist nun halt einmal der Feind des Guten. Das möge zunächst durch die Gegenüberstellung zweier Beispiele gezeigt werden. Es handelt sich darum, die Abhängigkeit graphisch darzustellen, die die Wurzeln einer quadratischen Gleichung an ihre Koeffizienten bindet. Die Gleichung sei:

$$z^2 + xz + y = 0$$

Dann deuten wir einmal  $x$  und  $y$  als rechtwinklige Koordinaten und erhalten nach den bisher besprochenen Prinzipien die Darstellung der Fig. 4. Noch einmal tritt uns beispielsweise die Schwierigkeit der Interpolation in dieser Tafel klar vor Augen. Dieselbe wird besonders klar bezeichnet, wenn man sich etwa die von der Geradenschar umhüllte Parabel noch eingezeichnet denkt. Dann hat man von dem die Gleichung darstellenden Punkt  $x, y$  aus an diese eine Tangente zu legen. Damit erhält man aber keinen klar bestimmten Berührungspunkt, und diese Unsicherheit in der Bestimmung des Berührungspunktes entspricht der Schwierigkeit der Inter-

polation. (Daß man den Punkt mit Zirkel und Lineal konstruieren kann, spielt dabei natürlich keine Rolle.) Gleichungen mit imaginären Wurzeln sind also durch Punkte in dem Parabelinneren dargestellt.

Der Vorzug der neuen jetzt zu besprechenden Methode springt klar in die Augen, wenn man die folgende den Prinzipien *d'Ocagnes* entsprechende Darstellung derselben Gleichung betrachtet. Auf zwei parallelen Geraden hat man die Koeffizienten der Gleichung zu nehmen

$$z^2 - 3.5z + 1.5 = 0$$

Die Figur ist auf die Bestimmung der positiven Wurzeln zugeschnitten. Will man negative bestimmen, so ersetze man in der Gleichung  $z$  durch  $-z$  und bestimme die positiven Wurzeln der abgeänderten Gleichung. Sind die Wurzeln so groß, daß sie auf der Figur nicht mehr abgelesen werden können, so hilft natürlich eine Substitution, die  $z$  durch  $kz$  ersetzt, wo man das  $k$  passend auswählen wird.

Das Prinzip für die Konstruktion der Fluchtlinientafeln, die wir hier in einem ersten Beispiel kennenlernten, ist ein anderes wie bei den Tafeln mit Kurvenkreuzung. Jetzt entspricht einem jeden Wert einer jeden Variablen ein Punkt (nicht mehr eine Kurve). Und die den verschiedenen

<sup>1)</sup> P. Schreiber, Grundzüge einer Flächenomographie, Braunschweig 1921.

Werten einer jeden Variablen zugeordneten Punkte erfüllen eine Kurve. Im Beispiel sind zwei gerade und eine krumme Skala vorhanden. Der Zusammenhang zwischen den in der gewünschten Funktionsbeziehung stehenden Werten der Veränderlichen wird dadurch gestiftet, daß die entsprechenden Punkte auf einer geraden Linie liegen (Fig. 6).

Ich betrachte gleich den allgemeinen Fall etwas näher. Da sind also die Punkte dreier be-

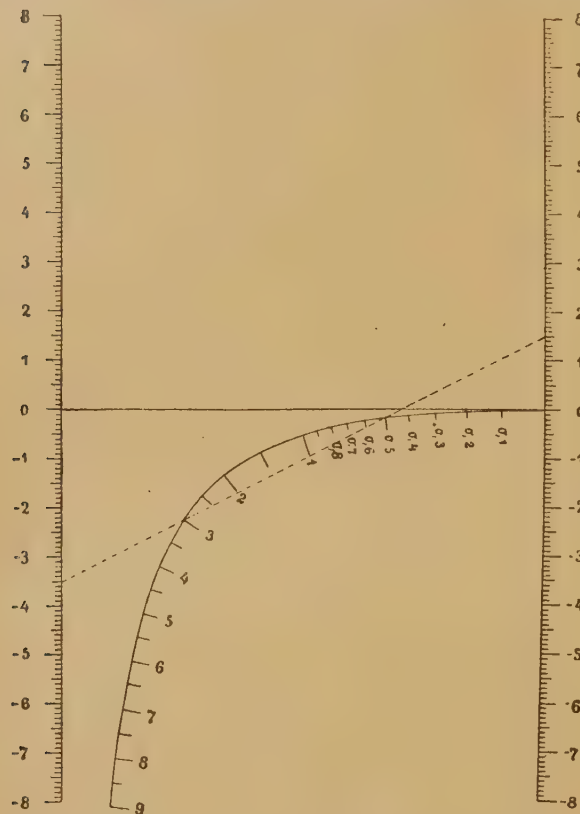


Fig. 5. Um mit Hilfe dieser Fluchtlinientafel die Gleichung  $z^2 + xz + y = 0$  zu lösen, markiere man auf der linken Vertikalen den gegebenen  $x$ -Wert, z. B.  $-3,5$ , auf der rechten den gegebenen  $y$ -Wert, z. B.  $1,5$ , verbinde beide durch eine Gerade und sehe zu, wo diese die Hyperbel trifft. Hier liest man die an den Schnittpunkt angeschriebenen Wurzelwerte ab.

liebiger Skalen geradlinig einander zugeordnet. Führe ich irgendein rechtwinkliges Hilfskoordinatensystem  $\xi, \eta$  ein, so mögen

$$\begin{array}{l|l|l} \xi = f_1(x_1) & \xi = f_2(x_2) & \xi = f_3(x_3) \\ \eta = g_1(x_1) & \eta = g_2(x_2) & \eta = g_3(x_3) \end{array}$$

die Gleichungen der drei Kurven sein. An ihre Punkte sind die Werte der entsprechenden Variablen  $x_1, x_2, x_3$  angeschrieben (Fig. 6). Sollen die den Werten  $x_1, x_2, x_3$  entsprechenden Punkte auf einer Geraden liegen, so muß es drei nicht durchweg verschwindende Zahlen  $u, v, w$  geben, so daß die drei Gleichungen:

$$\begin{aligned} u f_1(x_1) + v g_1(x_1) + w &= 0 \\ u f_2(x_2) + v g_2(x_2) + w &= 0 \\ u f_3(x_3) + v g_3(x_3) + w &= 0 \end{aligned}$$

gelten. Bekanntlich ist dafür dann notwendig und hinreichend, daß

$$\begin{vmatrix} f_1(x_1) & g_1(x_1) & 1 \\ f_2(x_2) & g_2(x_2) & 1 \\ f_3(x_3) & g_3(x_3) & 1 \end{vmatrix} = 0$$

ist. Um also einen gegebenen Funktionszusammenhang  $f(x_1, x_2, x_3) = 0$  durch eine solche Fluchtlinientafel zur Darstellung zu bringen, muß man denselben erst auf diese Form: die angegebene dreireihige Determinante gleich Null bringen. Das wird nicht immer gehen, es müssen dazu gewisse Bedingungen erfüllt sein. Wir werden später noch einiges darüber angeben. An dieser Stelle kann man am besten die Bedingung dahin bezeichnen, daß man feststellt: Es ist dieselbe Bedingung, der  $f(x_1, x_2, x_3)$  genügen muß, wenn man verlangt, daß dieser Funktionszusammenhang durch eine Kurvenkreuzungstafel mit drei Scharen gerader



Fig. 6. Schema der Fluchtlinientafeln: Zusammengehörige Werte von  $x_1, x_2, x_3$  liegen auf einer Geraden.

Linien soll dargestellt werden können. Sind nämlich:

$$\begin{aligned} \xi f_1(x_1) + \eta g_1(x_1) + 1 &= 0 \\ \xi f_2(x_2) + \eta g_2(x_2) + 1 &= 0 \\ \xi f_3(x_3) + \eta g_3(x_3) + 1 &= 0 \end{aligned}$$

diese drei Scharen gerader Linien, so muß auch die angegebene Determinante verschwinden. Im Falle unserer quadratischen Gleichung wird sie z. B.:

$$\begin{vmatrix} \delta(1-z) & -z^2 & 1 \\ 1+z & 1+z & 1 \\ \delta & x & 1 \\ -\delta & y & 1 \end{vmatrix} = 0$$

Diese Betrachtungen lehren, daß die Kurvenkreuzungstafeln mit lauter geraden Linien den Fluchtlinientafeln einfach dual gegenüberstehen. Im ersten Falle hat jede Variable einen konstanten Wert längs einer geraden Linie. Im zweiten Falle hat jede Variable einen konstanten Wert nur in einem Punkt. Im ersten Falle wird der Funktionszusammenhang dadurch gestiftet, daß drei Gerade durch einen Punkt gehen. Im zweiten Falle wird der Funktionszusammenhang dadurch gestiftet, daß drei Punkte auf einer Geraden liegen. Feste Werte von je zwei Variablen bestimmen im ersten Falle einen Punkt, im zweiten eine Gerade. Der Übergang von den einen zu den anderen entspricht also dem Übergang von Punktkoordinaten zu Linienkoordinaten. Ich führe das nicht näher



aus, weil der Mathematiker es ohne weiteres übersieht, und weil ich mich hier nicht in längere Erörterungen über diese Elemente aus der analytischen Geometrie einlassen kann. Es ist dazu eine Bemerkung, die für das Verständnis des Folgenden nicht unbedingt nötig ist. Ich will nur noch bemerken, daß es gerade dieser Gedanke war, durch den *d'Ocagne* zu seiner Wiederentdeckung der Fluchtlinientafeln geführt wurde. Daß er vor dem Wiener *Adler*, der gleichzeitig diesen Gedanken verfolgte, den Vorrang behielt, liegt einmal daran, daß seine Verwendung der Parallelkoordinaten<sup>2)</sup> vor den von *Adler* benutzten Plückerschen Linienkoordinaten Vorteile hatte in vielen Fällen, und daran, daß in Frankreich der Boden für die graphischen Rechenhilfs-

difikationen in Gebrauch. Darüber hinaus bevorzugt man die Kurvenkreuzungstafeln, deren Nachteile gegenüber den Fluchtlinientafeln in die Augen springen. Der Nachteil der Fluchtlinientafeln, daß es nur spezielle Funktionszusammenhänge sind, die sie darstellen, wiegt gering, denn gerade die französische Praxis hat gelehrt, daß nur selten ein Problem der Praxis sich der fluchtlinienmäßigen Behandlung entzieht. Der Nachteil wiegt auch gering gerade gegenüber den durch die Beispiele der Fig. 4 und Fig. 5 ad oculos demonstrierten Vorteilen in der Handhabung der Fluchtlinientafeln. Auch die Leere des Schlachtfeldes fällt gegenüber den Tafeln mit Kurvenkreuzung angenehm auf.

Der Einbürgerung der Fluchtlinientafeln steht ein mehr äußerliches Moment noch hinderlich im Wege. Zwar haben die Arbeiten von *Gronwall*<sup>3)</sup> und *Kellog*<sup>4)</sup> die Bedingungen kennen gelehrt, welche bestehen müssen, wenn sich ein gegebener Funktionszusammenhang durch eine Fluchtlinientafel soll darstellen lassen. Das sind also die Bedingungen, denen eine Gleichung  $\varphi(x_1, x_2, x_3) = 0$  genügen muß, wenn man sie in Form der oben angegebenen verschwindenden dreireihigen Determinante soll schreiben können. Und die Arbeiten lehren auch sämtliche für die Darstellung möglichen Fluchtlinientafeln kennen. Indessen fehlt noch eine für praktische Zwecke bequeme Durcharbeitung dieser Methoden. Ferner fehlt es an einer Stelle, die die schon konstruierten Fluchtlinientafeln sammelte und in den Handel brächte. Denn die bestehende Vertriebsgesellschaft für Nomogramme scheint gerade an Fluchtlinientafeln geringes Interesse zu haben. Hier kann nur die Vorschrift Platz finden, nach der *d'Ocagne* selbst stets gearbeitet hat und die von *Clark*<sup>5)</sup> streng begründet wurde. Man bringe zunächst die gegebene Gleichung auf die Form:

$$\varphi_1(x_1)\psi_1(x_2, x_3) + \varphi_2(x_1)\psi_2(x_2, x_3) + \varphi_3(x_2, x_3) = 0$$

Als dann setze man:

$$u = \frac{\psi_1}{\psi_3}, \quad v = \frac{\psi_2}{\psi_3}$$

und eliminiere nacheinander  $x_2$  und  $x_3$  aus diesen beiden letzten Gleichungen. Wenn sich so noch zwei lineare Gleichungen zwischen  $u$  und  $v$  ergeben, so ist die Darstellung durch eine Fluchtlinientafel möglich und ihre Skalen werden durch die drei so erhaltenen linearen Gleichungen in einem rechtwinkligen Koordinatensystem  $\xi, \eta$  dargestellt. Falls nämlich:

$$(G) \quad \begin{aligned} \varphi_1(x_1)u + \varphi_2(x_1)v + 1 &= 0 \\ \varphi_1(x_2)u + \varphi_2(x_2)v + 1 &= 0 \\ \sigma_1(x_3)u + \sigma_2(x_3)v + 1 &= 0 \end{aligned}$$

<sup>3)</sup> *Gronwall*, Sur les équations entre trois variables représentables par des nomogrammes à points alignés, Liouv. Journal Sér. 6. Bd. 8 (1912), S. 59—102.

<sup>4)</sup> *Kellog*, Nomograms with points in alignment, Ztsch. für Math. u. Phys. Bd. 63 (1915), S. 159—173.

<sup>5)</sup> *Clark*, Théorie générale des abaques d'alignement de tout ordre, Revue de mécanique Bd. 21 und 22.

Eigengewicht trockener Luft

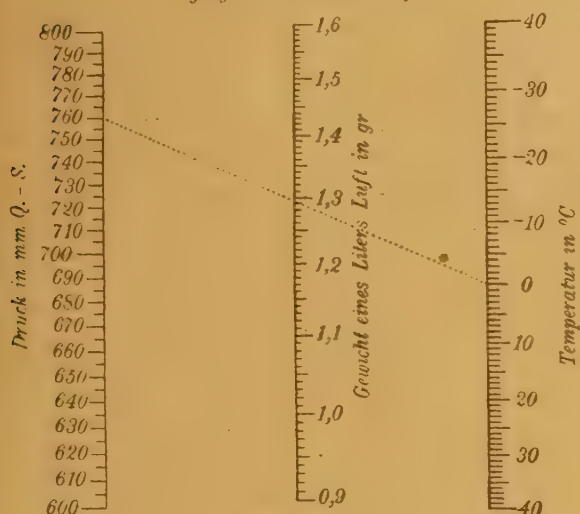


Fig. 7.

mittel schon wesentlich besser bereitet war als in deutschen Ländern. Dem entspricht ja auch der Umstand, daß die Anregung, die schon *Möbius* 1841 zur Konstruktion von Fluchtlinientafeln gab, unbeachtet blieb. Und auch heute noch finden wir die Fluchtlinientafeln in den Ländern der Entente in Ansehen und Achtung. Die Mathematiker befassen sich dort gerne auch mit den rein theoretischen Fragen, zu welchen die Fluchtlinientafeln Anlaß boten. In Deutschland findet man allenfalls — von wenigen rühmlichen Ausnahmen abgesehen — das in Fig. 7 angegebene Nomogramm der Multiplikation  $x_3 = x_1 x_2$  mit 3 logarithmischen Skalen in allen möglichen Mo-

<sup>2)</sup> Eine gerade Linie ist durch ihre Abschnitte auf zwei parallelen Geraden bestimmt. Diejenigen Geraden, deren Abschnitte (Koordinaten) einer linearen Gleichung genügen, gehen durch einen Punkt. Die Gleichung nennt man Gleichung des Punktes. Bei den Plückerschen Linienkoordinaten werden die Abschnitte auf zwei rechtwinklig zueinander liegenden Koordinatenachsen genommen, und die lineare Gleichung besteht zwischen den reziproken Werten der Abschnitte. Vgl. auch meine unter <sup>6)</sup> erwähnte Arbeit.

die 3 erhaltenen linearen Gleichungen sind, so ergeben sich die 3 Skalen aus:

$$\begin{array}{ccc} \xi = \varphi_1(x_1) & \xi = \varphi_1(x_2) & \xi = \sigma_1(x_3) \\ \eta = \varphi_2(x_1) & \eta = \varphi_2(x_2) & \eta = \sigma_2(x_3) \end{array}$$

Denn so ist z. B.  $\xi = \varphi_1(x_1)$   $\eta = \varphi_2(x_1)$  die Parameterdarstellung einer Kurve mit dem Para-

Analoge Bedeutung haben die beiden anderen, z. B. daß die Punkte  $x_1, x_2, x_3$  der drei Skalen an geraden Linien liegen. Führt dieser Prozeß nicht zum Ziel, so gibt es keine Fluchtlinientafel und man muß wohl oder übel zu den Tafeln mit Kurvenkreuzung greifen. Allerdings kann man auch versuchen, den ge-

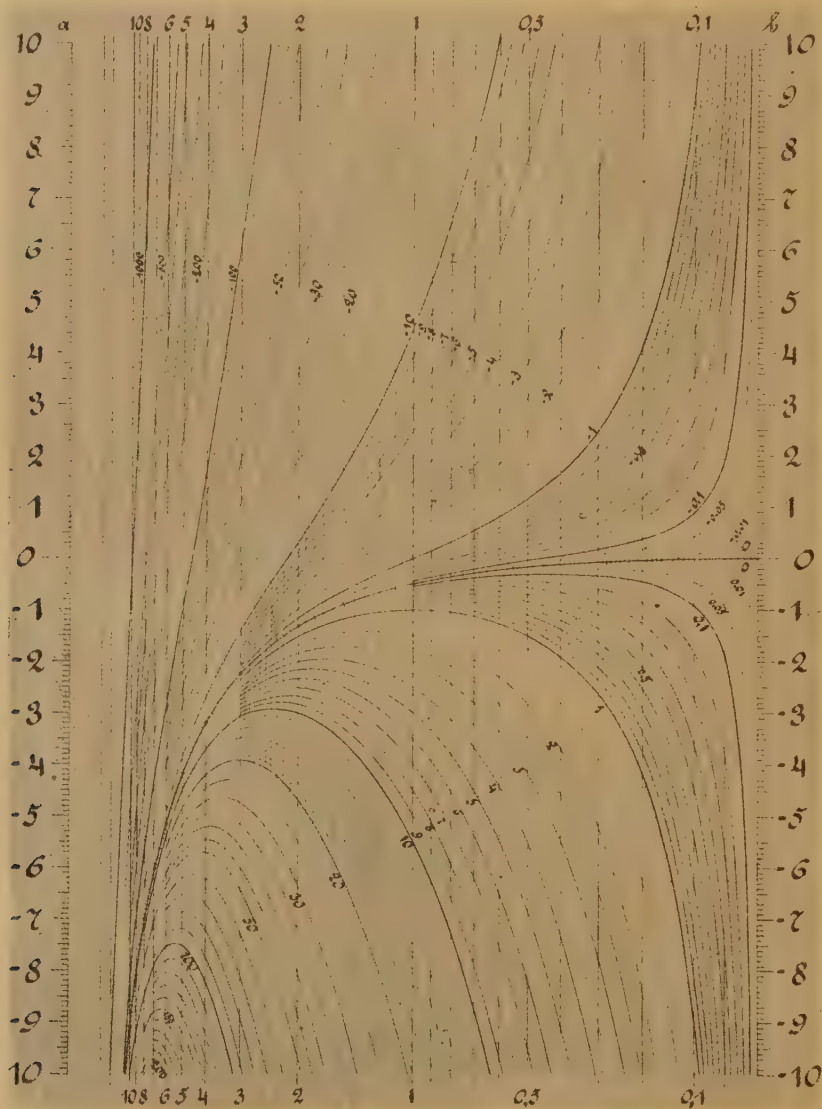


Fig. 8. Zur Auflösung der Gleichung  $z^3 + 2z^2 + 3z - 1 = 0$  verbinde man die Punkte  $a=2$  auf der linken und  $b=3$  der rechten Vertikalen durch eine Gerade. Diese schneide man mit derjenigen krummen Kurve, an der  $c=-1$  steht. Durch diesen Schnittpunkt geht eine vertikale Gerade, an der man — oben oder unten — die Wurzel  $z$  abliest.

meter  $x_1$ , dessen Werte man an die einzelnen Kurvenpunkte anschreibt. So erhält man etwa die linke Skala der Fig. 6. Analog werden die beiden anderen gefunden. Die erste der drei linearen Gleichungen (q) bringt dann z. B. zum Ausdruck, daß der Punkt  $\xi = \varphi_1(x_1)$ ,  $\eta = \varphi_2(x_1)$  auf der Geraden  $\xi u + \eta v + 1 =$  liegt.

gebenen Funktionszusammenhang durch einen anderen fluchtlinienmäßig darstellbaren zu approximieren. Doch ist auch dieser Gedanke noch kaum durchgearbeitet.

Zur Darstellung der Abhängigkeitsverhältnisse zwischen vier und mehr Veränderlichen bietet sich sofort der Gedanke einer Zusammen-



setzung mehrerer Nomogramme für drei Veränderliche. Zwar ist es ein bekannter von *Hilbert* ausgesprochener Satz, der sich auch leicht beweisen läßt, daß solche Darstellung nicht immer möglich ist, zwar ist auch die Frage nach den Bedingungen für die Darstellbarkeit oder die nach der Approximierbarkeit durch iterierte Dreiernomogramme völlig ungeklärt, doch war dies keine Hinderung, in vielen Fällen mit diesem Gedanken zum schönsten Ziele zu kommen. Z. B. kann man in der vorhin angegebenen dreireihigen Determinante an Stelle der Funktionen von je einer Variablen Funktionen von je zweien einsetzen. An Stelle der linearen Skalen, d. h. der kotierten Kurven treten dann sogenannte binäre Skalen, z. B. bedeutet doch das Verschwinden der Determinante:

$$\begin{vmatrix} f_1(x_1, x_2) & g_1(x_1, x_2) & 1 \\ f_2(x_3, x_4) & g_2(x_3, x_4) & 1 \\ f_3(x_5, x_6) & g_3(x_5, x_6) & 1 \end{vmatrix} = 0$$

bei Einführung des rechtwinkligen Hilfskoordinatensystem  $\xi, \eta$ , daß die Punkte:

$$\begin{array}{l|l|l} \xi = f_1 & \xi = f_2 & \xi = f_3 \\ \eta = g_1 & \eta = g_2 & \eta = g_3 \end{array}$$

in gerader Linie liegen. Die Punkte:

$$\begin{array}{l} \xi = f_1(x_1, x_2) \\ \eta = g_1(x_1, x_2) \end{array}$$

z. B. findet man aber, indem man die sich hieraus für konstantes  $x_1$  bzw.  $x_2$  ergebenden Kurven aufzeichnet. Sie bilden ein Kurvennetz, und das ist eine der binären Skalen. Ein *Beispiel* wird das völlig klarlegen!

Fig. 8 gibt die von *Mehmke* konstruierte Tafel zur Auflösung der kubischen Gleichung:

$$z^3 + az^2 + bz + c = 0$$

wieder.  $c$  und  $z$  bilden zusammen die binäre Skala, die zwischen den beiden geraden Skalen von  $a$  und  $b$  angebracht ist. Die vertikalen Geraden sind die Linien für konstantes  $z$ , die krummen Linien sind die für konstantes  $c$ .

Freilich kann man auch noch in anderer Weise die Zahl der Variablen durch Zusammensetzung von Nomogrammen erhöhen. Das von *d'Ocagne* herrührende Nomogramm der Zinseszinsformel gehört z. B. dahin. Es ist in Fig. 9 zu sehen. Diese Figur ist dem Büchlein von *Luckey* entnommen.

Zum Schluß will ich noch bemerken, daß es auch Nomogramme gibt, in welchen der Funktionszusammenhang nicht dadurch zum Ausdruck kommt, daß die zugeordneten Punkte der drei Skalen in gerader Linie liegen, sondern dadurch, daß sie auf Linien anderer Art liegen. In Gebrauch sind da z. B. Kreise oder zwei zueinander rechtwinklige Geraden oder auch drei Geraden, die sich unter Winkeln von  $60^\circ$  schneiden. Bei den rechtwinkligen Zügen ist der Gebrauch der, daß der Scheitel des Winkels über der einen Skala wandert, während die Schenkel die beiden

anderen Skalen schneiden. Man sieht hiernach leicht ein, daß z. B. die bekannte Figur des Höhensatzes der Planimetrie, die bekanntlich schon auf der Schule zur Konstruktion der mittleren Proportionale verwendet wird, leicht zu einem Nomogramm ausgestaltet werden kann. Allgemeiner gehört dann auch das bekannte Rechtwinkelverfahren zur Auflösung von Gleichungen hierher<sup>6)</sup>.

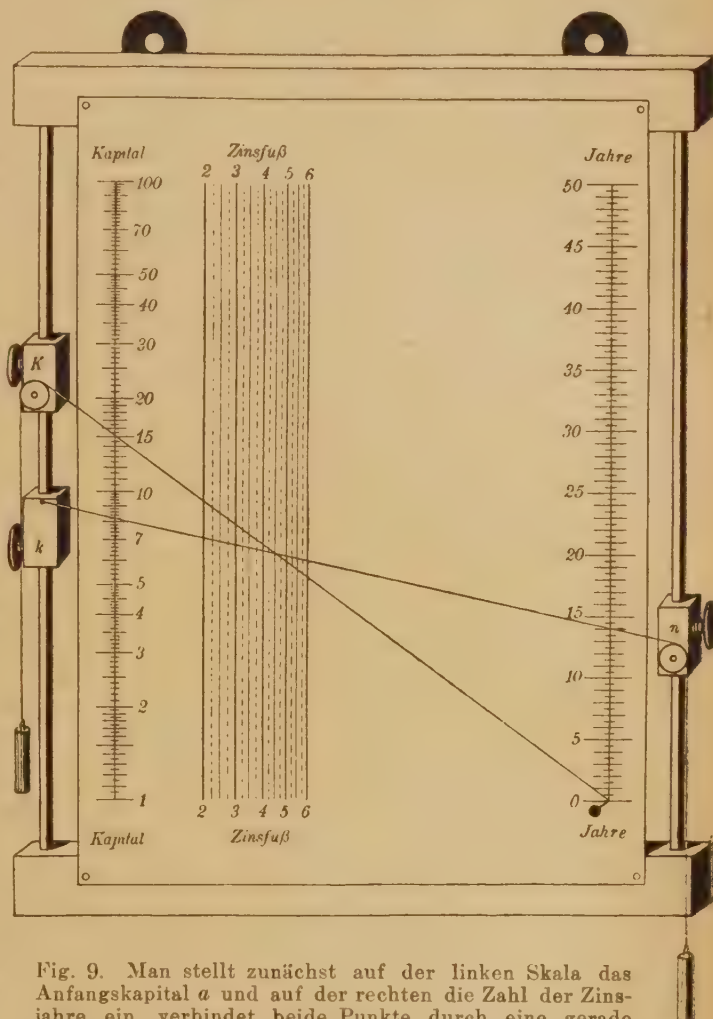


Fig. 9. Man stellt zunächst auf der linken Skala das Anfangskapital  $a$  und auf der rechten die Zahl der Zinsjahre ein, verbindet beide Punkte durch eine gerade Linie, die man mit derjenigen Vertikalen zum Schnitt bringt, an welcher der gewünschte Zinsfuß steht. Diesen Schnittpunkt verbindet man mit dem Nullpunkt der rechten Skala und bringt die so erhaltene Gerade mit der linken Skala zum Schnitt. Hier liest man das Endkapital ab.

chungen hierher<sup>6)</sup>. Eine andere Möglichkeit: Die Figur dreier unter Winkeln von  $120^\circ$  gegeneinander geneigten Geraden schickt durch jede von drei Skalen einen Schenkel hindurch. Die Skalen sind senkrecht zu den drei Geraden angebracht. Man erhält damit die sogenannten Sechsecktafeln. Wir setzen eine solche dem Buche von *d'Ocagne* entnommene hierher (Fig. 10).

<sup>6)</sup> Vgl. z. B. meine Arbeit in Bd. 1 der Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik, S. 61.

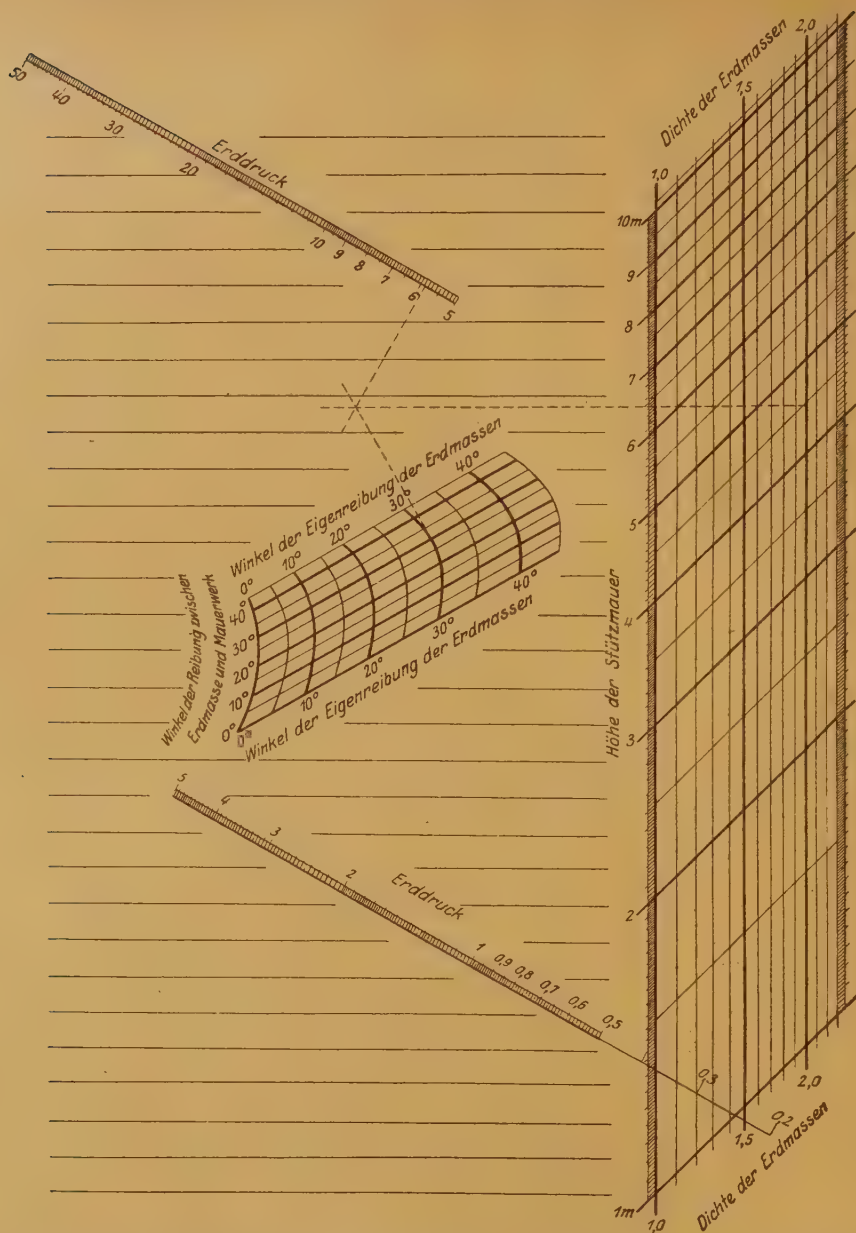


Fig. 10. Jeder der drei Skalen ist eine zu ihr senkrechte Richtung zugeordnet. Diese sind durch die punktierten Geraden angedeutet. Sind z. B. alle Größen bis auf den Erddruck gegeben, so lege man durch die beiden so bestimmten Punkte der beiden binären Skalen die zugehörigen punktierten Geraden. Durch ihren Schnittpunkt lege man eine zu der Erddruckskala senkrechte Gerade, schneide diese mit der Erddruckskala und lese dort den Erddruck ab. Der Bequemlichkeit wegen wird diese in zwei Teile zerlegt. Es kommt ja auch auf ihre Lage relativ zur senkrechten Geraden nicht an.

#### Literatur.

- d'Ocagne, Paris 1908.  
 Schilling, Über die Nomographie von M. d'Ocagne, Leipzig 1900.  
 D'Ocagne, Calcul graphique et nomographie, Paris 1908.  
 P. Luckey, Einführung in die Nomographie Bd. I, Leipzig 1918; Bd. II, Leipzig 1920 (Teubners math.-phys. Bibliothek Bd. 28 und Bd. 37).  
 M. Pirani, Graphische Darstellung in Wissenschaft und Technik (Sammlung Göschen 728).  
 Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften Bd. I, Artikel Mehmke.

### Der gegenwärtige Stand der geologischen Forschung.

#### Einleitung.

Von S. von Bubnoff, Breslau.

Wenn man die Geologie als Anwendung der Naturwissenschaften auf die Erde bezeichnet, so spricht man damit schon aus, daß sie Methoden und Anschauungsweisen der beiden großen naturwissenschaftlichen Zweige miteinander vereinigt. Mit den biologischen Wissenschaften hat sie die Tatsache gemeinsam, daß sie nicht unmittelbar zu



den letzten Ursachen des Stoffaufbaues und Geschehens zurückgeht, sondern mit diesen in der Chemie und Physik wurzelt, mit den beiden letzten verbindet sie die Einstellung auf den unorganischen, unbelebten Stoff und die unmittelbare Beziehung zur Praxis. Als Besonderheit kommt dann noch die historische Betrachtungsweise hinzu, die Beobachtung des Werdens und Vergehens in langen Zeiträumen der Erdgeschichte. Daraus erklärt sich, daß die Geologie, außer den allgemeinen naturwissenschaftlichen Forschungsmethoden auch ihre eigenen, spezifischen ausgearbeitet hat.

Mehr wie alle anderen Naturwissenschaften ist die Geologie von der Praxis, von den unmittelbaren Erfordernissen des Bergbaus ausgegangen. An die hier gemachten Erfahrungen knüpfte sie an und war daher zunächst nur eine äußerliche Beschreibung der hier gewonnenen Befunde, eine Sammlung von Tatsachen, die durch keine Theorie verbunden waren. Diese erste, beschreibende Periode hat ja wohl jede Wissenschaft durchgemacht, aber kaum je tritt einem der Gegensatz von Theorie und Praxis so klar entgegen, wie gerade in der Geologie. Die Lehre von der Erdbeschaffenheit und die Lehre von der Erdentstehung, Geognosie und Geogonie, gehen bis zum 19. Jahrhundert ganz verschiedene Wege, als hätten sie nichts miteinander zu tun. Diese seltsame Unabhängigkeit der Theorie von der Praxis erklärt es vielleicht, daß auch später noch, bei Abraham G. Werner, bei den Neptunisten und Plutonisten, die geologische Theorie oft so bizarre Formen angenommen hat und zuweilen mehr ein Kind des Glaubens als der Tatsachenforschung zu sein schien.

Erst nachdem die beschreibende, sammelnde und systematisierende Periode in den 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts durch die Arbeiten eines L. v. Buch in Deutschland (1774 bis 1854), Ch. Lyell in England (1797—1875), Elie de Beaumont in Frankreich (1798—1874) zu einem gewissen Abschluß gekommen war, konnte auch die Theorie auf eine festere Basis gestellt werden, obwohl sie auch heute noch zuweilen an einer gewissen „Tatsachenferne“ zu kranken scheint. Daraus erklärt sich, daß zwei an sich so nahe verwandte Zweige der Wissenschaft, wie Bergbaukunde und Geologie, heute zuweilen weit auseinandergehen. Das ist sehr bedauerlich, denn der Mangel einer, allerdings gut begründeten, theoretischen geologischen Unterlage macht sich in der Bergbaukunde oft unangenehm fühlbar. Die Tatsachenbeschreibung allein erlaubt noch keine sicheren Prognosen; erst die Geschichte einer Lagerstätte, die Bewegungen, Veränderungen und Kräfte, denen sie unterworfen war, lehren uns dieselbe verstehen; das ist aber schon das Gebiet der geologischen Theorie, die also auch für die Praxis eine nicht zu unterschätzende Bedeutung hat.

Bei der Schilderung des gegenwärtigen Standes der Geologie muß also die Frage im Vorder-

grunde stehen, ob und wie weit wir aus den uns vorliegenden Tatsachen heute eine gesicherte Theorie vom Aufbau und von der Geschichte der Erde entwerfen können; manches entpuppt sich dabei als festbegründete Tatsache, anderes besitzt heute nur den Wert einer mehr oder weniger wahrscheinlichen Hypothese.

Wenn nun im folgenden die Tatsachen der Geologie und ihre Zusammenfassung zu wissenschaftlicher Erkenntnis erläutert werden sollen, so muß der Stoff in mehrere Gruppen gegliedert werden, die zwar eng zusammengehören, aber doch einer besonderen Behandlung, einer besonderen Methode fähig sind und bedürfen. Eine solche Gliederung ist gleichbedeutend mit einer Einteilung nach den Zielen, welche die Geologie verfolgt, und die, abgesehen von der Praxis, nicht ganz einheitlich sind, da sie teils das Werden der Erde, teils die Gesetze dieses Werdens zu klären bestimmt sind. Je nach dem Ziel wechselt auch die Methode; Chemie, Physik, Mineralkunde, dann wieder Zoologie und Botanik bilden dabei die Grundlage und unentbehrliche Hilfswissenschaft, sofern nicht eigene Forschungsmethoden entwickelt werden müssen. Drei Hauptfragen sucht nun die Geologie zu beantworten:

1. *Wie ist die Erde entstanden*, d. h. wie hat sie in früheren Zeiten ausgesehen, welche Wandlungen hat sie durchgemacht, wie war früher ihr unorganisches und organisches Leben gestaltet?

2. *Wie ist die Erde beschaffen*, d. h. was sind ihre Bausteine und wie fügen sich diese strukturell und genetisch ineinander?

3. *Wie lebt die Erde*, d. h. welcher Bewegungen ist sie oder sind ihre Teile fähig, welche Kräfte stehen hinter diesen Bewegungen?

So ist die erste Gliederung in Geschichte der Erde (historische Geologie), Stoffkunde (Gesteinslehre — Petrographie) und Kraftkunde (dynamische Geologie) gegeben. Es braucht kaum erläutert zu werden, daß diese drei Zweige viele Berührungspunkte haben, ja für sich allein kaum denkbar sind. Wir können ein Gestein nur verstehen, wenn wir seine Geschichte kennen und die Kräfte begreifen, die es an seinen gegenwärtigen Ort gebracht haben. Wir erkennen die Kräfte erst am Stoff, auf den sie wirken, und an dem Zeitmaß ihrer Wirksamkeit. So bleibt eine Trennung immer willkürlich, wenn sie zu systematischen Zwecken auch notwendig erscheint. Doch ist mit der angedeuteten Gliederung die systematische Anordnung des Stoffes noch nicht vollständig. Insbesondere bedarf die dritte Frage, das Problem der Kräfte, noch einer schärferen Fassung. Zwei große Kräftegruppen wirken nämlich auf die Erde ein und bewirken ihre Gestaltung und Modellierung. Die eine wurzelt außerhalb der Erde selbst und ist, ganz allgemein gesprochen, eine mehr oder weniger komplizierte Funktion des Wärmehaushaltes der Erdoberfläche oder eine Folge der Sonnenbestrahlung. Alle atmosphärischen Kräfte, alle Wirkungen von Wind, Wasser oder Eis, ge-

hören hierher; man pflegt diese Gruppe als äußere „exogene“ Kräfte zusammenzufassen. Die andere Gruppe hat ihren Sitz in der Erde selbst, ihre Ursache in dem Wärmehaushalt des Erdinneren; hierzu gehören Verschiebungen fester Erdteile gegeneinander, welche das Gefüge, die „Tektonik“ der Erde bestimmen, und Verschiebungen flüssiger Teile gegen die festen, die man nach ihrer augenfälligsten Erscheinungsform als Vulkanismus bezeichnen kann. Die Erdbebenlehre oder Seismologie ist ursächlich mit diesen beiden Gruppen verknüpft, hat aber ihre besonderen, rein physikalischen Untersuchungsmethoden und wird daher besser gesondert betrachtet.

So ergibt sich die folgende natürliche Gliederung der geologischen Probleme:

- I. Historische Geologie — Die Lehre vom Werden und Vergehen der Erde,
- II. Petrographie — Die Lehre von den Bausteinen der Erde,
- III. Innere Dynamik — Die Lehre von dem inneren Kräftehaushalt der Erde und von seiner Äußerung als:
  1. Tektonik und
  2. Vulkanismus,
- IV. Erdbebenlehre,
- V. Äußere Dynamik — Die Lehre von der Wirkung atmosphärischer Kräfte auf die Erde.

Der gegenwärtige Stand dieser Fragenkomplexe soll im folgenden (in zwangloser Reihenfolge der Aufsätze) geschildert werden; jeder hat, wie gesagt, seine eigentümlichen Methoden und seine besonderen Probleme. Es ist bezeichnend, daß die wichtigsten Erkenntnisse und reizvollsten Entdeckungen auf den Grenzgebieten gereift sind.

### Der innere Kräftehaushalt der Erde

#### (Innere Dynamik).

#### Die tektonischen Bewegungen.

Von S. v. Bubnoff, Breslau.

Bewegung und Kraft.

Die Bewegungserscheinungen.

Die Großformen der Erdoberfläche.

Die Analyse der Kräfte.

Der Ursprung der Kräfte.

#### *Bewegung und Kraft.*

Die in der Erde wirksamen Kräfte sind nur in ihren Äußerungen an den Bausteinen der Erdoberfläche erkennbar. Wenn wir sehen, daß irgendwo zwei verschiedene Gesteine unvermittelt nebeneinander liegen, so werden wir in den meisten Fällen zur Annahme berechtigt sein, daß wenigstens eines derselben sich nicht an seiner ursprünglichen Bildungsstätte befindet, sondern durch Materialverfrachtung an seine heutige Stätte gebracht worden ist. In dieser weitesten Fassung trifft der Satz auf beide Gruppen der „endogenen Kräfte“ — Tektonik und Vulkanismus — zu. Während aber die tektonischen Bewegungen starres oder nur wenig plastisches Material ergreifen und seitwärts (horizontal) oder nach

oben oder unten (vertikal) verschieben, bringen die vulkanischen Kräfte glutflüssiges Material des Erdinneren an eine neue Stätte, zwischen und neben andere, ältere Gesteine. Trotz dieses prinzipiellen Gegensatzes zeigt sich aber in letzter Zeit immer deutlicher, daß die mechanischen Ursachen in beiden Fällen eigentlich identisch sind, so verschieden das Erscheinungsbild auch sein mag. Auf diese Erkenntnis von fundamentaler Bedeutung, welche das Verständnis der Erdmechanik wesentlich erleichtert, werde ich später zurückkommen; hier mußte nur zuerst der Gegensatz beider Kräfte festgestellt werden, da derselbe in ihrem Auftreten einen deutlichen Ausdruck findet. Tektonische Bewegungen verschieben starre Massen gegeneinander und erzeugen glatte Trennungsfugen an ihren Grenzen — Spalten oder Stauchungen im bewegten Material — Falten, vulkanische Bewegungen pressen flüssiges Material zwischen festes. Ihre Äußerungen gehorchen mithin den Bewegungsgesetzen der Flüssigkeiten, welche überall dort eindringen, wo Platz vorhanden ist; die von ihnen geschaffenen Gesteinsgrenzen sind daher oft nicht so einfach, wie die von tektonischen Vorgängen erzeugten. Daß es hier Übergänge gibt, Bewegung halbflüssigen, zähen Materials, ist eine der wichtigsten neuen Errungenschaften der geologischen Forschung.

Ich habe im Vorhergehenden absichtlich von den Erscheinungsformen der endogenen Kräfte gesprochen, denn diese selbst sind erst nach sorgfältiger Analyse der ersteren erkennbar. Mehr wie sonst ist in der Geologie oft der Fehler gemacht worden, daß sichtbare Bewegung und ursächliche Kraft gleichgesetzt worden sind, was zu zahlreichen Trugschlüssen geführt hat. Die Bewegung ist in den meisten Fällen nach Sinn und Richtung ohne weiteres erschließbar, die erzeugende Kraft keineswegs. Die Bewegung ist oft die komplizierte Funktion eines sehr mannigfaltigen, aus Zug und Druck zusammengesetzten Spieles von Kräften, deren Sinn und Richtung mit denen der Bewegung nicht identisch zu sein braucht. Wir müssen uns also stets vor Augen halten, daß die Betrachtung geologischer Tatsachen uns nur über Sinn und Richtung der Bewegungen aufklären kann, daß aber die Kräfte erst auf einem schwierigeren, komplizierten Wege der Forschung erschlossen werden können.

Die Bewegungsformen sind in ihrer tatsächlichen Erscheinungsweise schon weitgehend aufgeklärt worden; hier hat der Bergbau vor allem die nötigen Grundlagen geschaffen und auch einen Teil der Terminologie geliefert. Aber wenn er diesen Zweig der Geologie durch den gesammelten Erfahrungsschatz bereichert hat, so kann er heute dessen Verarbeitung durch die Geologie kaum mehr entbehren, da nicht die Einzeltatsachen allein, sondern nur ihre Einordnung unter allgemeine Prinzipien auch seine praktischen Zwecke fördern können. So selbstverständlich diese Sätze scheinen, überflüssig sind sie nicht. Langjährige



Erfahrung hat auch mir gezeigt, wie oft bei praktischen Arbeiten Zeit, Mühe und Geld gespart werden könnten, wenn der wissenschaftlich gebildete Geologe bei bergbaulichen Arbeiten zu Rate gezogen würde. Oft erweisen sich hierbei selbst die scheinbar abstraktesten theoretischen Überlegungen von großer praktischer Bedeutung.

### Die Bewegungserscheinungen.

Eine Bewegung zweier fester Körper gegeneinander wird nach Richtung und Ausmaß dadurch bestimmt, daß man die ursprüngliche und die neue Lage dieser Körper zueinander vergleicht. Um nun die ursprüngliche relative Lage zweier Gesteine festzuhalten, bedient sich die tektonische Geologie vor allem des Hilfsmittels der Lagerungslehre. Diese ist eigentlich ein Objekt der historischen Geologie, zeigt sich aber hier als unentbehrliche Grundlage der tektonischen Lehren. Ihr oberster Leitsatz, dessen Geltung schon vor mehr als einem Jahrhundert durch A. G. Werner und andere festgestellt wurde, lautet folgendermaßen: alle aus dem Meere abgelagerten Gesteine (Sandsteine, Tone, Kalke, Mergel) bilden ursprünglich mehr oder weniger planparallele, horizontale Platten (= Schichten), die sich von unten nach oben in der Reihenfolge ihrer Ablagerung überdecken. Das heißt zu unterst liegen die ältesten Schichten, zu oberst die jüngsten. Wenn wir nun für eine bestimmte Gegend die normale Lagerungsfolge festgestellt haben — und das ist heute fast für die ganze Erde geschehen —, so sind Abweichungen in derselben, sei es als Nebeneinander verschieden alter Gesteine, sei es als Überlagerung jüngerer durch ältere, leicht festzustellen. Werden dann die verschiedenen Gesteine auf eine Karte eingetragen, so sind die anomalen Gesteinsgrenzen — die Störungen — leicht aus dieser Übersicht zu ersehen.

Die sich hieraus ergebenden Verschiebungen können von zweierlei Art sein; entweder entstehen die anomalen Grenzen durch Brechen eines starren Materials (harter Kalk, Sandstein) und treten als Klüfte in Erscheinung, oder sie bestehen nur aus einer mehr plastischen Deformation, einer Verbiegung eines weicherer, nachgiebigeren Gesteins (Ton, Mergel). Es liegt in der Natur der Sache, daß diese, meist schmalen Zonen, längs denen die Störungen liegen, infolge der Überdeckung durch Schutt, Humus und Baumwuchs, nur selten unmittelbar sichtbar sind. Mit ihrer Beschaffenheit hat uns auch wieder vor allem der Bergbau bekannt gemacht. Sonst sind sie meist nur durch die geologische Kartierung und ihre Hilfsmittel, die Beobachtung von Höhenunterschieden im Gelände usw. erkennbar. So erscheint der Rheintalrand zwischen Basel und Darmstadt, der Alpenrand in Bayern schon bei flüchtiger Betrachtung als Störungslinie ersten Ranges.

Aber in der letzten Zeit setzt sich neben der

Kartierung der Gesteine noch eine andere, mehr indirekte Methode der Bewegungsbestimmung durch. Bewegte starre Gesteinsmassen sind selten nur an ihren Grenzen von Klüften umgeben; es gibt gewöhnlich nicht nur eine Randklüfte, sondern deren viele, die einander parallel laufen, ja, meist ist die gesamte Gesteinsmasse in strenger Abhängigkeit von der von ihr ausgeführten Bewegung zerklüftet. Dabei gibt es Klüfte, an denen keine sichtbare Verschiebung der Wände stattgefunden hat, und solche, an denen die Verschiebung schon leicht nachzuweisen ist. Man pflegt sie als gemeine Klüfte und Störungsklüfte (Paraklase und Diaklase des französischen Forschers *Daubrée*) zu unterscheiden. Es ist ein Verdienst W. Salomons, auf die Bedeutung der Klüfte für die Erforschung tektonischer Bewegungen mit Nachdruck hingewiesen zu haben. Durch genaues Nachmessen der Klüfte, welche eigentlich an jedem Gesteinsaufschluß sichtbar sind, kann für eine Gegend ein Klüftnetz nachgewiesen werden, welches die Bewegungen einzelner Oberflächenteile sogar deutlicher widerspiegelt, wie die geologische Karte, vor allem aber die kleinen Einzelbewegungen analysiert, aus denen sich die Gesamtbewegung zusammensetzt. Besonders die Klüfte, an denen eine sichtbare Verschiebung stattgefunden hat, sind von Bedeutung; denn ihre Bildung ist selten ohne Reibungserscheinungen an den Wänden vor sich gegangen; die Wände sind dann geglättet und mit Streifen in der Bewegungsrichtung versehen, wodurch diese zuweilen sehr genau bestimmt werden kann. Überraschend oft haben hierbei neuere Untersuchungen, vor allem der Heidelberger und Breslauer Schule, das Bestehen von horizontalen Verschiebungen an Stellen, wo nur vertikale vermutet wurden, nachgewiesen. Daß die Methode der Klüftmessung auch unmittelbar zur Druckbestimmung geeignet ist, hat, wie wir später sehen werden, ganz neuerdings *Cloos* in Breslau nachgewiesen.

Die uns bekannten Störungsformen der Lagerung ursprünglich horizontaler Gesteinsschichten müssen der Übersichtlichkeit halber in ein einfaches System gebracht werden. Am besten enthält man sich hierbei zunächst jeder Theorie und gliedert die Störungen nach der Art der an ihnen stattfindenden Bewegung. *Heim* und *de Margerie* haben in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts hierfür die maßgebenden Gesichtspunkte zusammengefaßt und entwickelt.

Die beiden möglichen Bewegungsrichtungen an der Erdoberfläche sind solche im Sinne des Erdradius oder im Sinne der Oberfläche selbst — radial oder tangential, anders ausgedrückt, vertikal oder horizontal. Im ersten Falle werden Teile der Erdoberfläche nach oben oder unten verschoben, gehoben oder gesenkt, im zweiten Falle werden sie parallel der Oberfläche verfrachtet oder zusammengestaut. Innerhalb dieser beiden größeren Gruppen sind dann noch verschiedene Unterabteilungen vorhanden.

Bei den vertikalen Bewegungen kann der sinkende Teil einer Gesteinsplatte mit dem stehengebliebenen in Zusammenhang bleiben; dann hat die Störung die Form einer einseitigen Verbiegung, einer *Flexur*. Das wird aber meist nur bei weichen, nachgiebigen Schichten der Fall sein; starre Gesteine brechen an der Grenze, und es entsteht eine trennende Kluft, eine Bruchspalte oder *Verwerfungsspalte* — ein Ausdruck, der ebenfalls dem Bergbau entnommen wurde. Konzentriert sich das Absinken nicht auf eine Störungslinie, so wird die Gesteinsplatte in einzelne Staffeln zerlegt, es entsteht ein *Staffelbruch* oder eine geologische Treppe, an der man gleichsam stufenweise in immer tiefer versenkte Plattenteile oder Schollen hinabsteigt. Ein zwischen zwei stehengebliebenen Plattenteilen versenkter Streifen heißt *Graben*, ein zwischen zwei versunkenen Schollen stehengebliebener oder gehobener Teil heißt *Horst*. Das Rheintal ist bis zu einem gewissen Grade ein Beispiel der ersten, der Thüringer Wald eines der zweiten Erscheinungsform.

Die *horizontalen* Bewegungen sind in Äußerung und Intensität viel mannigfaltiger. Auch hier spielt der Unterschied spröden und weichen Gesteinsmaterials eine bedeutsame Rolle. Die bekannteste Äußerung dieser Bewegungsart ist die *Gesteinsfaltung*, bei der eine Gesteinsplatte, wie ein zusammengestauchtes Tischtuch in Falten oder Wellen gelegt wird. *Sättel*, Wellenberge oder Antiklinalen wechseln dann ziemlich regelmäßig mit *Mulden*, Wellentälern oder Synklinalen ab. Eine Steigerung der faltenden Bewegung kann vor allem in spröderem Material ebenfalls zum Aufreißen von Klüften führen, an denen sich dann auch die einzelnen Gesteinsplatten verschieben. Im Gegensatz zu den Verwerfungen liegt aber in diesem Falle die trennende Kluft ganz oder nahezu horizontal und in derselben horizontalen Ebene erfolgt dann auch die Bewegung. Die Gesteinsplatten werden dabei übereinandergeschoben, wie Eisschollen beim Eisgang. Man bezeichnet diese Störungen als *Überschiebungen*; charakteristisch ist für sie, daß an ihnen ältere Schichten über jüngere zu liegen kommen, daß also die normale Schichtenfolge umgekehrt erscheint. Je nach dem Grade der Starrheit oder Weichheit der Gesteine wird sich die horizontale Bewegung mehr als Faltung oder mehr als Überschiebung äußern, wobei alle Übergänge möglich und auch beobachtet sind.

Die Faltung ist mit der wesentlichste Faktor gebirgsbildender Vorgänge; alle Hochgebirge, welche wie schmale Gürtel die Erde umspannen — die Alpen, die Karpathen, die zentralasiatischen Gebirge, die Anden u. a. —, weisen das Faltungsphänomen auf. Modellmäßig ist dasselbe im Schweizer Juragebirge ausgebildet und von hier ist auch, dank der Arbeit Schweizer Forscher, die wesentlichste Kenntnis dieser Phänomene ausgegangen.

Doch ist dieser Vorgang noch einer großen

Steigerung fähig, in dessen Wesen uns auch zuerst der Bergbau einen Einblick gewährte. Im belgischen und französischen Kohlenbergbau hat man zuerst beobachtet, daß Gesteinsmassen längs einer mehr oder weniger horizontalen Kluft kilometerweit transportiert worden sind. *Marcel Bertrand* und *Eduard Sueß* haben als erste versucht, diese Erfahrung zur Entwirrung der komplizierten Lagerungsverhältnisse in den Alpen auszunützen. Aber erst *Lugeon* und *Schardt* haben zu Beginn dieses Jahrhunderts gezeigt, daß der ganze Bau der Alpen durch solche riesenhaften Überschiebungen beherrscht wird, deren Bewegungsausmaß viele Dutzende von Kilometern erreicht. In großer Ausdehnung liegen in den Alpen ältere Gesteine jüngeren auf und erweisen sich als exotische, fremde Massen, aus ferner Heimat einem andersartigen Untergrund aufgeschoben. Diese Massen pflegt man heute als *Überschiebungsdecken* oder kurzweg als *Decken* zu bezeichnen, und die sich immer mehr entwickelnde Kenntnis von ihrem Aufbau — die Deckentheorie — bildet schon heute einen Grundpfeiler der alpinen Forschung. Es ist mir hier nicht möglich, auf diese Phänomene und alle mit ihrer Deutung zusammenhängenden Fragen näher einzugehen. In einer kleinen Arbeit habe ich das heute vorliegende Material erst kürzlich zusammengestellt und möglichst allgemein verständlich behandelt<sup>1)</sup>.

Neben der Faltung und Überschiebung gibt es aber noch eine dritte Gruppe horizontaler Bewegungen, die gerade in letzter Zeit immer mehr Bedeutung erlangt. Es sind das die sogenannten *Transversalverschiebungen* oder *Blätter*, ein Ausdruck, der auch dem Bergbau entlehnt ist. Die Bewegungen finden hier an vertikal stehenden Klüften statt, die also äußerlich Verwerfungen gleichen; die Verschiebung der Gesteinsblöcke erfolgt aber nicht in vertikaler, sondern in horizontaler Richtung. Zunächst waren solche Verschiebungen vorwiegend nur aus Faltengebirgen bekannt. Die gefalteten Steinkohlenflöze Belgiens und Westfalens haben sie aufgeschlossen, *Alb. Heim* beschrieb sie anschaulich aus den Alpen (Säntis) und dem Schweizer Jura. Neuerdings zeigt es sich aber, daß sie auch im geologischen Bau Mitteleuropas eine wichtige Rolle spielen. Am Sudetenrandbruch, der wichtigen Trennungslinie, welche das Sudetengebirge von der hügeligen Vorebene im Nordosten abgrenzt, haben nach *Cloos* Verschiebungen der nordöstlichen Scholle gegen NW stattgefunden. Am Rheintalrand sind nach *Cloos*, *Röhler* und nach dem Verfasser Schwarzwald und Odenwald gegen die Rheinebene nach Norden vorgeschoben. Das Studium dieser blockförmigen Horizontalbewegungen von Teilen der Erdkruste steht noch am Anfang, verspricht aber sehr wichtige Einblicke in den Aufbau der Erde.

<sup>1)</sup> Die Grundlagen der Deckentheorie in den Alpen. Schweizerbart'scher Verlag, Stuttgart 1921.



*Die Großformen der Erdoberfläche.*

Wir haben im Vorhergehenden die zwei wichtigsten Bewegungsformen auf der Erdoberfläche kennengelernt und die Fugen betrachtet, auf denen diese Bewegungen stattfinden. Wir wollen nun sehen, wie die Teile der Erdkrinde zwischen diesen Fugen ausgebildet sind, welche oberflächlich sichtbaren Formen die Erde unter dem Einfluß dieser Bewegungen annimmt. Als erster auffallender Gegensatz tritt uns da die Gliederung in Land und Meer, in Kontinent und Ozean entgegen. Ehe wir die Gestaltungsform aber auf Bewegungen zurückführen, müssen wir uns die Frage vorlegen, ob diese Gliederung etwas Beständiges oder etwas Wechselndes darstellt. Die Frage scheint befremdlich, wenn man weiß, daß große Teile des heutigen Festlandes früher vom Meere bedeckt waren. Und doch ist die Behauptung, Ozean und Kontinent seien stetige, permanente Züge im Antlitz der Erde, nie zur Ruhe gekommen. Wallace, dann Willis, in Deutschland in letzter Zeit Sörgel haben sich besonders für die Lehre von der Permanenz eingesetzt. Um das zu verstehen, muß man bedenken, daß die heutige Grenze von Land und Meer etwas rein Willkürliches ist; man braucht den Meeresspiegel nur um wenige Meter zu senken, um weite Areale trocken zu legen, nur wenig zu heben, um große Teile des Landes unter Wasser zu setzen. Man betrachte daraufhin z. B. die norddeutsche Tiefebene, die schon nach geringer Versenkung dem Meere einen Zutritt bis weit nach Rußland gestatten würde. Es ist bemerkenswert, daß dieser Weg mehrfach im Verlauf der Erdgeschichte benutzt worden ist. Um diese zufälligen Grenzen handelt es sich natürlich nicht. Jeder Kontinent setzt mit seinem Sockel noch weit ins Meer hinein; dieser von flachem Wasser überspülte Sockel, der *Schelf*, ist noch ein Teil des Kontinents selber. Seine Grenze gegen die Tiefsee ist dagegen stets ziemlich scharf. Nimmt man also an, daß Kontinent und Schelf etwas Beständiges gegenüber der Tiefsee ausmachen, so setzt man sich nicht in Widerspruch mit den Tatsachen der Geologie. Sehr vieles spricht heute dafür, daß diese Betrachtungsweise ihre volle Berechtigung hat. Wer sich dafür interessiert, sei auf die Schrift von Sörgel verwiesen<sup>2)</sup>.

Hier sei eine Tatsache festgehalten: Ozean und Kontinent erscheinen gleichsam als besondere Einheiten — als Großformen der Erde; eine Überflutung von Kontinentalteilen setzt eine Blockbewegung nach oben voraus. Anzeichen dafür finden sich an allen Kontinentalrändern, sei es in Form untergetauchter Flußläufe, wie an der französischen Küste des Atlantik, sei es in Form gehobener Strandterrassen, wie in Skandinavien und am Mittelmeer. Das sind nicht die Kleinformen der Bewegung, wie wir sie im vorhergehenden Abschnitt studiert haben, sondern langsame

<sup>2)</sup> Das Problem der Permanenz der Kontinente und Ozeane. Schweizerbartscher Verlag, Stuttgart 1916.

Hebungen und Senkungen großer Landteile. Als *Epeirogenesis* (Kontinentbildung) hat zuerst Gilbert diese Prozesse von der *Orogenesis* oder Gebirgsbildung im engeren Sinne abgetrennt. Diese Trennung wird heute allgemein anerkannt, wenn auch die Grenzen beider Begriffe etwas verschieden gefaßt werden. Denn auch innerhalb der Kontinente kennen wir einheitliche Bewegungen größerer Blöcke; so hat sich z. B. der Schwarzwald in jungtertiärer Zeit als Ganzes aus seiner Umgebung herausgehoben. Es ist also nicht immer klar, wo die Grenzen zwischen Epeirogenesis und Orogenesis liegen, so verschieden auch die beiden extremen Äußerungen sind. Auch genetisch sind Zusammenhänge vorhanden; *Stille* hat gezeigt, wie epeirogenetische Bewegungen, Senkungen im großen, eine Gebirgsbildung auslösen können, die im gesunkenen Streifen infolge Stauchung von Seiten der stehengebliebenen Wände — *des Rahmens* — zur Auswirkung kommt. (Vgl. weiter unten.)

Neben den flachen Schelfmeeren und den tiefen Ozeanen gibt es aber noch eine dritte „Hohlform der Erdkrinde“, deren Bildung und Gestaltung auch in das Grenzgebiet von Orogenesis und Epeirogenesis fällt; das sind die sogenannten *Geosynklinalen* oder Erdmulden. Der Amerikaner Hall hat ihre Kennzeichen zuerst angegeben (1859); die Theorie ihrer Bildung ist dann später von Haug ausgebaut worden, *Dacqué*, *Arbenz*, *Deecke*, der Verfasser u. a. haben dem Begriff in neuester Zeit eine etwas abweichende Fassung gegeben. Nach der ursprünglichen Definition handelt es sich um verhältnismäßig schmale Streifen der Oberfläche, welche durch lange Zeiträume der Erdgeschichte hindurch einer dauernden, langsamen Senkung unterworfen waren. Infolgedessen hat sich an ihrem Boden, durch Abtragung von benachbarten Landteilen, eine ganz ungeheure Masse von Sedimenten — abgelagertem Gesteinschutt — angehäuft, die Tausende von Metern mächtig ist. Diese „Ablagerungströge“ bilden nun den Mutterschoß der großen Faltengebirge der Erde, die sämtlich aus dem Boden der Geosynklinalen in einem heftigen gebirgsbildenden Prozeß aufgestiegen sein sollen. Dort, wo heute die Alpen 4000 m über das Meer hinausragen, war früher, durch lange Zeiträume hindurch, eine tiefe, immer schärfer sich ausprägende Senke; Anden, Appalachen, Ural, Zentralasien sollen dasselbe zeigen. In der neuesten Fassung wird die Geosynklinale etwas anders definiert: ihr Zusammenhang mit den Faltengebirgen wird anerkannt, doch wird sie weniger als Gebiet stetiger Senkung aufgefaßt, vielmehr als unruhiger Meeresstreifen, der dauernd zwischen Seichtwasser und Tiefsee hin und her pendelte. Damit stimmt auch die neue Theorie *Argands* überein, wonach die Alpen frühzeitig angelegt wurden und schon in der Zeit, als sie noch unter Meeresbedeckung lagen, also zur Geosynklinale gehörten, einer Art beginnender, langsamer, „embryonaler“ Faltung unterworfen waren.

Zum Studium der Kontinentalbildung und der Sedimentationströge reichen die im ersten Abschnitt angegebenen tektonischen Gesichtspunkte nicht aus. Das Studium der Ablagerungen des Meeres und ihrer Bildungsbedingungen ist hier unbedingtes Erfordernis; die Oberflächengestaltung der Vorzeit muß rekonstruiert werden und damit sind die engsten Beziehungen zur historischen Geologie geschaffen.

Andererseits kann uns das Studium der Abtragung auf dem Lande, der Entstehung von Gebirgsformen, kurzum der Morphologie der Erdoberfläche, über Hebungen und Senkungen weitgehend unterrichten. Hier ist die amerikanische Schule, vor allem *Davis*, bahnbrechend vorgegangen; freilich sind ihre oft sehr schematisierenden Schlüsse nur mit Vorsicht zu verwerten. Wie aus dem genauen Studium des wechselnden Spieles von Abtragung und Ablagerung von Gesteinsmassen Methoden für Untersuchung der Bewegungen der Erde abzuleiten sind, hat neuerdings *W. Penck* gezeigt.

Die Oberflächenformen, welche die Gebirgsbildung oder *Orogenesis* schafft, sind ungeheuer mannigfaltig, und ich kann mich hier nur darauf beschränken, die wichtigsten Typen aufzuzählen.

Nach den im ersten Teil entwickelten Gesichtspunkten kann man die einzelnen Gebiete festen Landes in drei Gruppen einteilen, je nachdem ob sie überhaupt keine neueren Lagerungsstörungen aufweisen, oder ob solche vertikalen oder horizontalen Charakters überwiegen. Diese Gruppierung verdanken wir vor allem dem großangelegten Werke von *Ed. Sueß* „Das Antlitz der Erde“. Wir hätten danach folgende drei Haupttypen zu unterscheiden:

I. Tafelland oder alte Schilder, je nachdem, ob die betreffenden Gebiete vom Meere überflutet waren oder seit undenklichen Zeiten ein Festland gebildet haben. Im ersten Falle sehen wir gleichmäßige horizontal-tafelförmig gelagerte Sedimente; z. B. in weiten Strecken des europäischen Rußlands. Im zweiten Fall entstehen weite Niederungen, aus alten Erstarrungsgesteinen zusammengesetzt. Skandinavien und Finnland bilden den baltischen Schild, in Kanada, Sibirien, Afrika, Brasilien sind andere derartige seit uralter Zeit kaum bewegte Massen bekannt.

II. Faltenland, dem Faltenbildung und Überschiebungen das Gepräge geben. Alle heutigen Hochgebirge gehören hierher. Als schmale, guirlandenförmige Streifen oder Bögen ziehen sich diese Gebirge zwischen den alten Schildern eigentlich über die ganze Erde hin, immer dem Verlauf früherer Geosynklinalen oder Ablagerungströge folgend.

III. Schollenland und Bruchland, mit einem Überwiegen vertikaler Bewegungen. In reinster Ausbildung ist diese Form, die also aus einer Gruppe gegeneinander verschobener Plateaustücke bestehen würde, selten vertreten. Vielleicht gehören das Colorado-plateau Nordamerikas

und die großen Grabenbrüche Zentralafrikas bis zum Roten Meere hierher. Meist sind vertikale Störungen mit Äußerungen horizontaler Bewegung kombiniert. Die letzte kann schwach gewesen sein, wie z. B. im nördlichen Schweizer Jura, wo Verwerfungen bei weitem überwiegen, oder sie kann einen intensiveren Grad erreichen. Das ist z. B. in Mitteldeutschland der Fall, wo neben Verwerfungen auch Überschiebungen und schwache Falten auftreten. *Stille* hat diese Kategorie als Faltungsfelder ausgeschieden und ihre Bildung auf die schon erwähnte Rahmenfaltung, auf ein Einsinken und eine Stauung innerhalb eines starren Rahmens zurückgeführt. Jedenfalls ist aber ein solches „Bruchfaltengebirge“ von einem echten Faltengebirge schon an der sehr geringen Intensität der faltenden Bewegung leicht zu unterscheiden.

In dieser Übersicht ist keineswegs eine erschöpfende Darstellung aller Formen der Erdtektonik gegeben. Manches ist aber auch noch durchaus nicht klar und zu wenig bekannt. So sind die eigentümlichen „Zerrungsbögen“ *Richt-hofens* mit ihrer äußeren bogenförmigen Gestalt, die an Faltengebirge erinnert, und ihrem inneren, schollenartigen, von Verwerfungen durchsetzten Aufbau, mit ihren „Vortiefen“, den ozeanischen Tiefseegräben, noch durchaus rätselhaft. Die ostasiatischen Gebirge und die japanischen Inseln sind Vertreter dieses Typus. Ich will mich bei diesen verwickelten Erscheinungen nicht länger aufhalten; im Grunde gehen sie auch auf eine Kombination vertikaler und tangentialer Bewegungsmomente zurück.

Zum Schlusse muß nur darauf hingewiesen werden, daß die Faltengebirge je nach ihrem Alter eine ganz verschiedene Rolle im Aufbau der Erde spielen. Einer Faltung ist eigentlich die ganze bekannte Erdrinde unterworfen gewesen; nur der Zeitpunkt hat gewechselt, und was einmal gefaltet war, blieb später meist von Bewegungen gleicher Art verschont. Die Faltung versteift ein Erdrindenstück, macht es starr und spröde. So entwickelt sich aus den ältesten, heute gänzlich abgetragenen Gebirgen ein starrer Schild oder, auf dessen Rücken, ein ungestörtes Tafelland. Von den hohen, jüngeren Gebirgen der Steinkohlenzeit verschont die Abtragung einen Teil; sie bilden heute *Gebirgsrümpfe* von geringer Höhe, wie die deutschen Mittelgebirge. Sie waren zu starr, um späteren Bewegungen zu folgen; statt weiterer Faltung erzeugten diese in ihnen eine vertikale Bruchtektonik, und heute ragen sie in einzelnen Blöcken über ihre Umgebung hinaus und stellen den „Rahmen“ für die Bruchfaltentektonik der eingeschalteten, tiefer gesunkenen Platten dar. Nur die jüngsten Faltengebirge sind von der Abtragung weitgehend verschont, und ihre firnbedeckten Gipfel zeugen noch heute von der Großartigkeit der Bewegungsvorgänge, welche sie schufen.

(Schluß folgt.)



## Besprechungen.

**Tschulok, S., Deszendenzlehre (Entwicklungslehre).** Ein Lehrbuch auf historisch-kritischer Grundlage. Jena, G. Fischer 1922, XII, 324 S., 63 Abbildungen im Text und 1 Tabelle. Preis geh. M. 48; geb. M. 58,—.

Die Deszendenzlehre, Entwicklungslehre oder Genetik definiert der Verfasser dieses Buches als eine Wissenschaft, welche sich mit den Problemen der Herkunft und der Mannigfaltigkeit innerhalb der Welt der Organismen beschäftigt. Im Gebiete dieser Wissenschaft hat sich nun in den letzten Jahrzehnten ein bedeutungsvoller Umschwung hinsichtlich der Grundanschauungen vollzogen. Darwin und seine Anhänger glaubten, daß die Annahme einer allmählichen Entwicklung der Organismen nur möglich sei bei gleichzeitiger Anerkennung gewisser Hypothesen über die Art der Umbildung und über die Entstehungsweise der zweckmäßigen Anpassung der Organismen. Heute sind die meisten Biologen von der Unrichtigkeit dieser Hypothesen überzeugt, ohne daß sie jedoch den Grundgedanken der Deszendenzlehre, nämlich die Annahme einer allmählichen Entwicklung der Organismen, aufgegeben hätten.

Tschulok will nun in seinem Werke den Nachweis dafür liefern, daß diese Grundannahme der Deszendenzlehre auch heute noch als Basis der Biologie betrachtet werden muß, wie immer man auch über Darwinismus, Lamarckismus u. dgl. denken mag. Nicht die Forschungsarbeit der heutigen Biologen will Tschuloks Werk hierbei beeinflussen, wohl aber will es auf die Gestaltung der Lehre bestimmend einwirken und es stellt daher selbst einen methodischen Lehrgang der Deszendenzlehre dar. Damit wird in der Tat eine Lücke ausgefüllt, denn es fehlte bisher eine methodische Darstellung der gesamten Entwicklungslehre, durch welche wir in die Lage versetzt würden, jeder neuen Erkenntnis sachlicher oder hypothetischer Natur sofort den ihr gebührenden Platz im System der Deszendenzlehre anzuweisen. Unabhängig von historischen Umständen und frei von Einflüssen bestimmter Parteirichtungen wird von Tschulok eine rein normative Darstellung der ganzen Lehre versucht.

Der Verfasser bespricht zunächst die Stellung der Entwicklungslehre innerhalb der gesamten biologischen Wissenschaften und zeigt an der Hand eines bestimmten Beispiels, daß das Problem der Deszendenz einen logisch selbständigen Gesichtspunkt der Forschung neben demjenigen der Taxonomie, Morphologie, Physiologie u. a. m. darstellt. Dieses Problem basiert auf zwei formalen Voraussetzungen.

Die Erörterung der ersten von diesen — der Erfassung des Geschehens unter dem Gesichtspunkte der „geologischen“ Zeit — bietet dem Verfasser Gelegenheit, den Entwicklungsgang der Anschauungen über die Bedeutung der Fossilien in sehr anregender Weise zu besprechen. Die zweite formale Voraussetzung betrifft die Bedingungen für die Aufnahme hypothetischer Elemente in die Entwicklungslehre, was den Anlaß zur Erörterung der Natur und der Bedeutung von „Hypothesen“ und „Theorien“ auf dem Gebiete der sogenannten beschreibenden Naturwissenschaften bildet. Nachdrücklich wird hierbei auf die Bedeutung jener „Selbstbesinnung des nach Erkenntnis strebenden Geistes“, die man „Philosophie“ nennt, auch für die Naturwissenschaften hingewiesen und der Ausdruck: „voraussetzungslose“ Wissenschaft als ein Schlagwort der materialistischen Epoche in der Naturforschung gekennzeichnet.

Nach Erledigung dieser formalen Voraussetzungen der Entwicklungslehre wendet sich der Verfasser den Problemen dieser Lehre selbst zu und legt zunächst dar, wie man sich im Laufe der Jahrhunderte bemühte, die offensichtliche Mannigfaltigkeit der Organismen zum Gegenstande wissenschaftlicher Behandlung zu machen und wie dies erst durch das Mittel der Begriffsbildung gelang. Dieses Kapitel ist eine mit historischem Rückblick verbundene Logik des „natürlichen Systems“ der Organismen. Tschulok versucht hier zu beweisen, daß sich die gradweise abgestufte Mannigfaltigkeit der Organismen mit den Tatsachen der organischen Kontinuität, der Kontinuität der spezifischen Organisation und der Variabilität nur dann zu einer einheitlichen Erkenntnis vereinigen lasse, wenn man diese Mannigfaltigkeit als das Ergebnis einer ebenso gradweise abgestuften Blutsverwandtschaft auffaßt, d. h. also auch, wenn man sich den gegenwärtigen Zustand der Organismenwelt als durch allmähliche Umbildung entstanden vorstellt. Das „natürliche System“ selbst bildet den begrifflichen Ausdruck für die in dieser Weise aufgefaßte abgestufte Mannigfaltigkeit der Organismen, und in ihm erblickt Tschulok auch den Hauptbeweis für die Entwicklungslehre, dem er hierauf weitere ergänzende Beweise aus dem Gebiete der Morphologie, Embryologie, Geographie und Paläontologie anschließt.

Ist somit im Sinne der Entwicklungslehre die abgestufte Mannigfaltigkeit der Organismen als durch allmähliche schrittweise Umbildung entstanden zu betrachten und damit die Grundfrage der ganzen Lehre beantwortet, so erheben sich nunmehr zwei weitere Fragen: Die nach den Stammbäumen der einzelnen Formen (Stammbaumproblem) und die nach den treibenden Kräften für die in der Vergangenheit stattgehabte Umbildung (Faktorenproblem). Was die Stammbaumforschung betrifft, so wird sie zunächst methodologisch analysiert, hierauf ihren praktischen und logischen Grenzen nach umrissen und endlich auf ihre Leistungsfähigkeit hin geprüft. In letzterer Hinsicht gelangt Tschulok mit Recht zu der Schlußfolgerung, daß das Ergebnis dieser Forschungsrichtung ein sehr bescheidenes ist und auch stets bleiben wird, weil das Unzureichende dieser Forschungsmethode nicht nur durch äußere Umstände bedingt ist, sondern vor allem auf inneren Gründen beruht. Nicht viel besser steht es mit der Faktorenforschung. Sie versucht die Ergebnisse der Erforschung der Abänderungsursachen bei den gegenwärtig lebenden Organismen auf die in der Vergangenheit stattgefundenen Entwicklungsvorgänge anzuwenden. Allein die bisher vorliegenden Ergebnisse dieser Forschungsart bieten noch keine Handhabe, um mit ihrer Hilfe kausale Erklärungen auch für längst vergangene Entwicklungsvorgänge zu wagen. Indessen — Stammbaum- und Faktorenforschung sind nur logisch untergeordnete Teilgebiete der Entwicklungslehre, und ihr Versagen beeinträchtigt in keiner Weise die Sicherheit der ihnen logisch übergeordneten Deszendenztheorie. Die Verkenntnis dieses Verhältnisses zwischen dem Grundproblem — der Lehre von der allmählichen Entwicklung der Organismen — und den ihm logisch untergeordneten Teilproblemen — der Stammbaum- und der Faktorenforschung — bildet die Quelle einerseits für die Unsicherheit in der Auffassungsweise der Deszendenztheorie selbst sowie andererseits für die Gegnerschaft gegen diese Theorie. Mit diesen Umständen beschäftigen sich zwei von den Kapiteln des Werkes, während das ihnen folgende letzte Kapitel das sogenannte „biogenetische Grund-



„gesetz“ behandelt und zu dem Schlusse gelangt, daß der Versuch, aus den Formzuständen der Ontogenese eines Organismus die Umwandlungsstadien seiner Vorfahren abzulesen, nicht berechtigt ist.

Schon aus dieser naturgemäß nur andeutungsweise gehaltenen Inhaltsübersicht geht wohl hervor, welche bedeutungsvolle Probleme in diesem Werke behandelt werden. Die große Belesenheit des Verfassers, die scharfe begriffliche Fassung und die anregende Art der Darstellung gestalten die Lektüre zu einem Genuß, so daß man sich der Schwierigkeit, mit welcher die Erörterung und die richtige Erfassung derartiger Probleme verbunden ist, kaum bewußt wird. — Die von dem Verfasser vertretenen Anschauungen bilden das naturwissenschaftliche Glaubensbekenntnis wohl der Überzahl der denkenden Naturforscher. Noch immer gibt es freilich auch solche, welche die Bedeutung und die Berechtigung der Stammbaum- und der Faktorenforschung überschätzen. Hoffentlich wird *Tschuloks* Werk auch nach dieser Richtung hin aufklärend einwirken, soweit wenigstens die jüngeren Forscher in Betracht kommen. Von jenen, welche in diesen falschen Anschauungen aufgewachsen sind und mit ihnen ihr Lebenswerk verkittet haben, ist ja eine Gesinnungsänderung nicht zu erwarten.

A. Fischel, Wien.

**Naef, Adolf, Die fossilen Tintenfische, eine paläozoologische Monographie.** Jena, Gustav Fischer, 1922, VI, 322 S., 1 Titelbild und 101 Abbildungen im Text, 16 × 23½ cm. Preis M. 100,—.

Wenn ein Autor wie *Naef*, der sich ja seit einer ganzen Reihe von Jahren fast ausschließlich mit dem Studium der Cephalopoden beschäftigt und somit derzeit als einer der besten Kenner dieser Tiergruppe gelten darf, eine Monographie der fossilen Tintenfische veröffentlicht, so darf man diese wohl mit dem größten Interesse zur Hand nehmen. Kann man sich doch der Erwartung hingeben, daß durch die Untersuchungsergebnisse, die in dem Buche niedergelegt sind, unsere Kenntnisse über diese Tiere eine wesentliche Bereicherung erfahren werden. Die Annahme erscheint um so mehr berechtigt, als ja *Naef* als Zoologe über Kenntnisse, die rezenten Vertreter genannter Tiergruppe betreffend, verfügt, die sich der Paläozoologie in diesem Ausmaße nur schwer wird je aneignen können, weil er ja eine solche jahrelange Erfahrung über eine einzelne rezente Tiergruppe nur dann würde sammeln können, wenn er während des gleichen Zeitraumes auf das Studium fossiler Formen so gut wie ganz verzichten würde. Freilich drängt sich in diesem Zusammenhang sogleich die Frage auf, ob ein Zoologe wieder mit jenen Forschungsmethoden hinlänglich vertraut ist, die für die Bearbeitung fossiler Tiere unbedingt notwendig sind und die sich auch der Paläozoologie nur in jahrelanger Arbeit auf seinem Fachgebiete aneignen kann.

Es kann natürlich im Rahmen dieses Referates nicht unsere Aufgabe sein, obige Fragen eingehender zu behandeln, es schien uns nur deshalb notwendig, sie wenigstens flüchtig zu streifen, weil die Berücksichtigung der Voraussetzungen und Grundlagen, auf denen das Werk aufgebaut ist, zur richtigen bzw. gerechten Beurteilung unerlässlich ist.

Wenden wir uns nunmehr dem Buche *Naefs* selbst zu. Auf die etwa 10 Seiten umfassende Einleitung — wir kommen auf sie noch später zurück —, in welcher der Autor seine theoretischen Anschauungen über die bei der Behandlung fossiler Formen anzuwendenden

Methoden vertritt, folgt der erste Teil, der die Überschrift „Spezielle Voraussetzungen“ trägt und uns mit der Morphologie und den Grundzügen der Systematik der Cephalopoden bekannt macht. Die Darlegungen des Autors werden — wie auch in allen weiteren Teilen des Buches — durch eine Reihe von Abbildungen unterstützt. Sie sind wie sämtliche Abbildungen von der Hand des Autors gezeichnet, und zwar mit äußerster Sorgfalt, so daß auch die kleinsten Details (z. B. die einzelnen Zuwachslinien usw. bei den Belemnitenchalen) mit vollster Deutlichkeit zum Ausdruck kommen, wodurch das Studium des Textes wesentlich erleichtert wird.

Der zweite Teil behandelt dann die *Sepioidea*, der dritte die *Teuthoidea*, der vierte die *Belemnoidea*, der fünfte endlich die *Octopoda*. Ein kurzes „Schlußwort“ beendet das Werk. — In allen diesen Teilen werden zunächst die allgemeinen Organisationsverhältnisse der betreffenden Gruppen eingehend behandelt, worauf dann jeweils die Besprechung der einzelnen Formen folgt. Daneben nimmt natürlich auch die Erörterung stammesgeschichtlicher Fragen einen beträchtlichen Raum ein und führt in vielen Punkten zu einer Klärung des Ablaufes der phylogenetischen Entwicklung. Auch über eine Fülle von Einzelheiten der Organisation zahlreicher Formen liefert das Buch sehr wesentliche und z. T. neue Ergebnisse. Sie alle einzeln anzuführen, würde ja hier viel zu weit führen, und wir müssen uns daher auf die allgemeine Feststellung beschränken, daß die oben ausgesprochene Erwartung, *Naefs* Buch werde unsere Kenntnisse in bedeutendem Maße bereichern, sich vollauf erfüllt hat.

Glauben wir so die Vorzüge des Werkes wenigstens einigermaßen gebührend hervorgehoben zu haben, so glauben wir doch andererseits auch jene Punkte kurz erwähnen zu sollen, in denen wir der Meinung des Autors nicht beipflichten können. Da es jedoch fast ausschließlich Meinungsverschiedenheiten sind, die in den verschiedenen theoretischen Anschauungen des Autors und des Referenten ihren Grund haben, welche Anschauungen ja für die Untersuchungsergebnisse keineswegs ohne Belang sind, so dürfen die folgenden kritischen Bemerkungen nicht überschätzt werden, da wo es sich um grundsätzlich verschiedene theoretische Standpunkte handelt, die für jede Kritik zu fordernde Objektivität leicht trotz der besten Vorsätze nicht in vollem Maße zu wahren ist.

Dies vorausgeschickt, glauben wir jedoch nicht verschweigen zu dürfen, daß uns die schon in der Einleitung des Buches betonte einseitige Benutzung der morphologischen Methode (im Sinne *Naefs*!) auf Kosten der paläobiologischen nicht glücklich erscheint. Bei der Behandlung der *Sepioidea*, *Teuthoidea* und *Octopoda* tritt dies ja nicht so sehr in Erscheinung, da sich ja deren fossile Vertreter relativ sehr nahe an die lebenden anschließen. Anders dagegen bei den *Belemnoidea*. Wie *Naef* selbst hervorhebt (vgl. S. 260), ist hier die Klärung der phylogenetischen Zusammenhänge nicht in dem gleichen Maße gelungen wie bei den übrigen Gruppen. Unserer Meinung nach liegt nun der Grund hierfür darin, daß bei den B., die unter allen hier behandelten Cephalopoden den rezenten Formen am fernsten stehen, mit der rein zoologischen morphologischen Methode nicht das Auslangen gefunden werden kann. Daß *Naef* auch hier nicht die paläobiologische Methode herangezogen hat, erscheint um so unverständlicher, als ja gerade hier schon Vorarbeiten vorhanden waren in Gestalt von



O. Abels Paläobiologie der Cephalopoden, und er deren Hauptergebnisse in bezug auf die Phylogenie der Belemniten ja im wesentlichen bestätigen mußte. Gerade in diesem letzteren Umstande erblickt Ref. einen Beweis dafür, daß die konsequente Ablehnung der paläobiologischen Methoden seitens Naef seine Untersuchungsergebnisse bezüglich der Belemniten beeinträchtigt hat und auch rein objektiv nicht völlig berechtigt erscheint.

Dadurch soll aber Naefs Verdienst, das er sich um die fossilen Tintenfische durch das vorliegende Buch erworben hat, in keiner Weise geschmälert werden, und jeder, der sich über den heutigen Stand unserer Kenntnisse von den fossilen Tintenfischen unterrichten will oder der selbst auf diesem Forschungsgebiete in Zukunft weiterarbeiten will, wird dieses Buch zur Hand nehmen müssen und er wird durch sein Studium nicht nur eine Bereicherung seiner Kenntnisse erfahren, sondern auch für mancherlei Anregung dem Autor zu Dank verpflichtet sein.

K. Ehrenberg, Wien.

Hofmann, Karl M., Lehrbuch der anorganischen Chemie.

4. Auflage. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, 1922  
XX, 751 S., 122 Abb. und 7 farbige Spektraltafeln.

14½×22½ cm. Preis geh. M. 400,—, geb. M. 500,—.

Dank der überaus freundlichen Aufnahme, die das Buch im In- und Ausland gefunden hat, wurde kaum anderthalb Jahre, nachdem die dritte Auflage erschienen war, eine neue Bearbeitung nötig. Seit dem Ende des Weltkrieges haben sich die geistigen und wirtschaftlichen Kräfte der Kulturstaaten auf die lange unterbrochene Friedensarbeit mit beispielloser Intensität gerichtet. Alte Aufgaben der Wissenschaft und Technik wurden mit neuem Eifer bearbeitet und neue mit kühnem Mut in Angriff genommen.

So kommt es, daß die Chemie in der erwähnten, kurzen Zeitspanne an Erfahrung und Erkenntnis außerordentlich bereichert wurde. Demgemäß enthält die neue Ausgabe viele Ergänzungen und Verbesserungen des früheren Inhaltes; doch wurde die alte Form möglichst gewahrt, nachdem sich gezeigt hat, daß die hier versuchte Einigung von Tatsachen und Vorstellungen sowohl für den Anfangsunterricht als auch für die Fortbildung zweckdienlich ist. Auch dieses Mal haben die Fachgenossen, insbesondere die Herren H. Biltz, K. Fajans, L. Lewin, C. Neuberg und K. Schaefer den Verfasser mit bewährtem Rat auf das beste unterstützt.

Neu hinzugefügt wurde dem Text im Zusammenhang mit der löslichen Kieselsäure ein besonderer Abschnitt über Kolloide.

Aus dem Vorwort.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Die Entstehung des physiologischen Eindruckes des Glanzes.

Meines Wissens wird der Oberflächenglanz, den manche Körper im auffallenden Lichte zeigen, dadurch erklärt, daß sie die Lichtstrahlen bestimmter Spektralgebiete in bestimmter Richtung reflektieren. Das kommt dadurch zustande, daß ihre Oberfläche geglättet ist, während bei rauen Körpern die Reflexion nach allen möglichen Richtungen stattfindet. Ich hatte aber kürzlich Gelegenheit, das Zustandekommen des physiologischen Eindruckes des Glanzes unter ganz anderen Bedingungen zu beobachten. Ich fuhr bei hohem Sonnenstande, aber ziemlich viel diffusum Lichte im Eisenbahnschnellzuge mit der Sonne im Rücken. Etwa

zwanzig Meter von dem etwas erhöhten Bahnkörper entfernt begann ein Getreidefeld, dessen äußerst scharf gezogene Drillreihen senkrecht auf den Bahndamm zu verliefen; man konnte zwischen den sattgrünen Reihen den ziemlich roten Boden hervorleuchten sehen. Plötzlich hatte ich den Eindruck, als ob das nach allen anderen Richtungen, mit Ausnahme der einen senkrecht vom Eisenbahnzuge geradeaus, grün erscheinende Feld hier von einer glänzenden roten Linie durchzogen sei, die sich mit dem Eisenbahnzuge über das Feld hinweg bewegte. Der Eindruck erinnerte an den, den die sog. Changeantgewebe hervorrufen, wo ja auch die glänzende Farbe nur hervortritt, wenn man in einer bestimmten Richtung daraufschaut, während der nicht glänzende Untergrund eine andere Farbe zeigt. Ich habe früher niemals mit Wissen eine ähnliche Beobachtung gemacht, auch von einem Fachmann mich belehren lassen, daß ihm aus der Literatur nichts dergleichen bekannt sei. Ich muß mich auf diese Mitteilung beschränken und die Würdigung ihrer Bedeutung oder des Gegenteils den Physikern und Physiologen überlassen.

Göttingen, den 7. Juli 1922.

Joseph Bergfried Eßlen.

Glanz ist unter den von Herrn Eßlen angegebenen Bedingungen m. W. bisher noch nicht beobachtet worden. An den Bedingungen scheint wesentlich: gleichmäßig gefärbtes Umfeld, im Infeld schneller Wechsel der Umfeldfarbe mit einer in Farbton — und wohl auch Helligkeit — gegensätzlichen Farbe. Analoge Bedingungen lassen sich experimentell leicht herstellen. Es müßte die quantitative Abhängigkeit der Glanzerscheinung von den absoluten und relativen Helligkeiten, Farbtönen und Expositionsdauern sowie der Form und Größe des Infelds untersucht werden. Aber schon ein qualitativer Vorversuch zeigte, daß die Erscheinung nicht von den physikalischen Reizen allein, sondern auch von psychischen Bedingungen abhängt: bei Betrachtung einer flimmernden Kreisel-scheibe mit einem dunkelblauen und einem hellgelben Sektor durch einen dem blauen Sektor gleichfarbigen Lochschirm sahen manche Beobachter das Infeld lebhaft (gelb) glänzen, andere nicht. Es scheint darauf anzukommen, daß das Infeld mit dem Grund zusammen, und zwar als einem Gegenstand aufliegendes Licht gesehen wird. Hierfür waren die Bedingungen bei Herrn Eßlens Beobachtung offenbar besonders günstig. Sie bestätigt sehr schön die Auffassung, die Kiesow (Arch. ital. di Psicol. 1, 3—83, 239—290, 1921) aus Versuchen über stereoskopischen Glanz ableitet: daß Glanz dann auftritt, wenn zwei Gegebenheiten weder vollständig getrennt sind — wie ein ruhender roter Streifen auf grünem Grunde —, noch vollständig verschmolzen — wie die Mischfarbe auf dem Farbkreis —, sondern so vereinigt, daß sie eine verhältnismäßig große Selbständigkeit gegeneinander bewahren.

E. M. v. Hornbostel, Steglitz.

### Über die Möglichkeit der räumlichen Quantelung von angeregten Wasserstoffatomen im Magnetfeld.

Der experimentelle Beweis für die Richtungsquantelung von Silberatomen (im Normalzustand) im magnetischen Felde ist von den Herren W. Gerlach und O. Stern<sup>1)</sup> erbracht worden. Wie Herr N. Bohr in

<sup>1)</sup> W. Gerlach u. O. Stern, Zeitschr. für Physik 1922, S. 349.

seinen Göttinger Vorträgen erwähnte, kann man die von einigen Beobachtern<sup>2)</sup> gefundene teilweise Polarisation des von verschiedenen Lichtquellen in schwächeren Magnetfeldern ausgesandten Lichtes — ein Effekt, der sich auf Spektrallinien in ihrer gesamten Breite bezieht — ebenfalls als eine quantenhafte Ausrichtung der emittierenden Atome im Magnetfeld ansehen. Besonders von W. Wiechern<sup>3)</sup> ist ein solcher Effekt außer an verschiedenen Metallflammspektren an Helium- und Quecksilberlinien in Geißlerschen Röhren quantitativ untersucht worden.

Da die Anregungs- und Emissionsbedingungen bei einer Entladung im Geißlerrohr recht kompliziert sind, hatte ich mir die Aufgabe gestellt, die Erscheinung bei Kanalstrahlen, wo die Verhältnisse infolge des geringen Druckes besonders einfach liegen, zu verfolgen. Man kann im Kanalstrahl natürlich auch nur eine Ausrichtung angeregter Atome im magnetischen Felde feststellen, hat aber die Möglichkeit, durch Messung des Polarisationszustandes verschiedener Spektrallinien die Erscheinung bei verschiedenen Quantenzuständen der betreffenden angeregten Atome unter übersichtlichen Bedingungen zu verfolgen. Besonders wichtig schien es mir zunächst, Versuche mit Wasserstoffatomen zu machen, bei denen ja das magnetische Moment durch ein einziges umlaufendes Elektron bedingt ist.

Der aus einer Kathodenbohrung von ca. 3 mm Durchmesser austretende Kanalstrahl passierte zwei durchbohrte Polschuhe (ca. 12 mm Abstand), zwischen denen sich mit Hilfe eines kleinen Elektromagneten ein magnetisches Feld herstellen ließ. Der zwischen den Polschuhen befindliche Teil des Kanalstrahls wurde mit einem Kondensor auf dem Spalt eines lichtstarken Prismenspektrographen abgebildet. Die Spektrallinie, bei meinen Messungen  $H_{\beta}$ , wurde durch eine Lupe betrachtet, vor der sich ein drehbarer Nicol befand. Die durch den Spektralapparat selbst hervorgerufene teilweise Polarisation wurde bei unerregtem Felde durch einen Glasplattensatz kompensiert. Beim Einschalten des Magnetfeldes zeigte sich dann ein schwacher, aber deutlicher Unterschied zwischen beiden Nicolstellungen, und zwar war die senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien verlaufende Komponente des elektrischen Vektors stärker. Das deutet darauf hin, daß die angeregten Wasserstoffatome sich mit ihrer Impulsachse in der Richtung des magnetischen Feldes teilweise einstellen. Besonders gut war die Erscheinung bei niedrigem Gasdruck in der Röhre sichtbar, bei höherem Druck konnte ich keinen Unterschied zwischen beiden Nicolstellungen mehr finden. Offenbar überwogen dann die Störungen durch die Gasmoleküle (Zusammenstöße und elektrische Feldwirkungen der Moleküle) so stark, daß bei den von mir angewandten kleinen Feldstärken keine deutliche magnetische Ausrichtung mehr erfolgen konnte; bei höheren Feldstärken wurde von Wiechern (l. c.), wie schon gesagt, bei He und Hg im Geißlerrohr eine Polarisation beobachtet. Leider fehlte mir aus äußeren Gründen jetzt die Zeit, die Stärke der magnetischen Felder und den Grad der Polarisation quantitativ zu messen. Jedenfalls aber genügen schon recht schwache Felder, da der Effekt schon bei ganz geringer Erregung des kleinen Elektromagneten noch schwach

sichtbar war; eine sorgfältige Beseitigung der Resonanzfelder durch Gegenstrom war offenbar notwendig.

Ich habe aus den erwähnten Gründen die Absicht, die Messungen noch auf andere Linien des Wasserstoffs sowie auf die Kanalstrahlspektren anderer Gase auszudehnen, da sie mir aussichtsvolle Wege zur Untersuchung der Richtungsquantelung im Magnetfeld zu eröffnen scheinen.

Göttingen, den 12. August 1922.

H. Rausch von Traubenberg.

## Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien 1921.

(Sitzungen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse.) 13. Januar 1921.

Das w. M. F. Becke legt folgende Mitteilung über **Grau- und Farbstellung bei gedrehter horizontaler und asymmetrischer Dispersion der optischen Achsen** vor. Eine Platte von Borax parallel (010) zeigt im Konoskop infolge der gedrehten Dispersion in Normalstellung Farbensäume am Achsenbalken. Wird dieser von links nach rechts eingestellt, so beobachtet man an der Achse rechts, an dem Büschel, wo es den innersten Ring des Interferenzbildes durchsetzt, oben einen rötlichen, unten einen bläulichen Saum. An der Achse links ist die Farbenverteilung oben blau, unten rötlich. Dreht man die Platte aus der Normalstellung gegen den Uhrzeigersinn um etwa  $25^\circ$ , so verschwindet die Färbung, das Büschel erscheint grau. Diese Stellung heiße die Graustellung. Beide Achsenbilder treten bei Drehung der Platte gleichzeitig in die Graustellung, da beide Achsenpole sich antimetrisch verhalten. Wie die Graustellung zustande kommt, ist leicht zu verstehen. Die Achsenpole für Licht verschiedener Wellenlänge projizieren sich in das Gesichtsfeld des Konoskops längs einer annähernd geraden Linie. Stellt man die Platte so ein, daß das Büschel für eine Farbe über diese Linie hinstreicht, so kommen auch die Büschel für andere Farben damit zur Deckung. Dreht man die Platte aus der Graustellung um  $45^\circ$  nach der einen oder anderen Seite, so treten die dunklen Büschel für verschiedene Farben am weitesten auseinander und die farbigen Säume werden nun besonders deutlich. Aus der von Dufet bestimmten Achsendispersion des Borax konstruierte ich den Winkel, welchen die durch die Achsenpole von äußerstem Rot und äußerstem Violett gezogene Gerade mit der Achsenebene für mittlere Farben einschließt, den Grauwinkel. Die Konstruktion ergab  $52^\circ$ . Aus der Drehung, die erforderlich ist, um die Platte aus der Normalstellung in die Graustellung zu bringen ( $25^\circ$ ), würde, da das Achsenbüschel sich ebenso schnell in entgegengesetztem Sinn dreht, der Grauwinkel  $50^\circ$  folgen, was mit den Angaben Dufets gut übereinstimmt. Eine Platte von *Kupfervitriol*, mit *asymmetrischer* Dispersion, zeigt eine schwach und eine stark dispergierte Achse. Bringt man die Platte in Normalstellung rechts — links und die schwach dispergierte Achse rechts, so tritt bei Drehung der Platte um  $22^\circ$  die linke stark dispergierte Achse, bei einer Drehung um  $37^\circ$  die rechte schwach dispergierte Achse in Graustellung. Der Grauwinkel ist bei den beiden Achsen verschieden ( $44^\circ$  und  $74^\circ$ ). Bei rhombischen Kristallen und bei monoklinen mit geneigter Dispersion fällt die Graustellung mit der Normalstellung, die Farbstellung mit der Diagonalstellung zusammen. Die Aufsuchung von Grau- und Farbstellung kann dazu benützt werden, die Lage der Achsen für verschiedene Farben festzulegen. Jedoch ist zu beachten, daß es sich um scheinbare Achsenörter handelt, daß die Dispersion der Brechungsexponenten des Kristalls zu berücksichtigen ist und daß mangelnde Achromasie des

<sup>2)</sup> Siehe W. Voigt, Handbuch der Elektr. und des Magnetismus, herausg. von Gratz, Bd. IV, S. 624, Leipzig 1920.

<sup>3)</sup> W. Wiechern, Diss. Göttingen 1913.



Beobachtungsapparats Fälschungen der Erscheinung bewirken kann, wenn die Achsenbilder sich weit vom Mittelpunkt des Gesichtsfeldes entfernen und die Dispersion der Achsen an und für sich gering ist.

27. Januar 1921.

Prof. Dr. *Othenio Abel* übersendet den Bericht über seine Ausgrabungsarbeiten in der **Drachenhöhle bei Mixnitz in Steiermark**. Die durch die Subvention der Akademie ermöglichten Ausgrabungsarbeiten in der Drachenhöhle bei Mixnitz in Steiermark sind vom 4.—12. Januar durchgeführt worden, soweit die Aushebung des einen in wissenschaftlicher Hinsicht besonders wichtigen Knochenkomplexes in einem Seitengange der Drachenhöhle in Frage stand. Als eines der hierbei erzielten wichtigen Ergebnisse ist anzuführen, daß die zu einem scheinbar wirren Haufen vereinigten Knochen eine auffallende Sonderung zeigten, indem nach Abhebung der zu oberst liegenden Schädel, die zum Teile fest ineinander verkeilt waren, eine Lage von Knochen bloßgelegt wurde, in der Beckenknochen vorherrschten, worauf noch tiefer eine größere Zahl von großen Extremitätenknochen zum Vorschein kam; die Basis des Knochenkomplexes wurde von einer dichten Lage kleinerer Knochen gebildet, unter denen Wirbel und Metapodien dominierten. Diese auffallende Sichtung der Knochen nach Größe und Gewicht zeigte, daß es sich hier um eine Umlagerung von Skeletten durch fließendes Wasser handeln muß, das die Höhle zu einer Zeit durchströmte, in der auf der Oberfläche des lehmigen Höhlenbodens eine größere Zahl von Resten verendeter Höhlenbären ausgestreut war. Etwa 50 cm über dieser Knochenschicht, die als die Fortsetzung einer die ganze Höhle auf eine Länge von fast einem halben Kilometer durchziehenden Knochenschicht anzusehen ist, die wir als die „Hauptschicht“ bezeichnen, befindet sich im „Seitengange“ eine weitere knochenführende Lage, die „Deckschicht“. Die Knochen in dieser Deckschicht, die sich von denen der Hauptschicht durch meist auffallend hellere Farbe und härtere Konsistenz unterscheiden, gehören zwar noch der Höhlenbärenfauna an, doch waren die Knochen hier teilweise angenagt oder zerbissen und die ganze Anordnung der Knochen ließ keinen Zweifel darüber zu, daß hier der Wohnplatz bzw. Fraßplatz eines Wolfes vorlag. Hier kamen auch Kieferreste von *Canis borealis* zum Vorschein. Die Ausgrabungen warfen aber auch gleichzeitig auf die Feuchtigkeitsverhältnisse in der Drachenhöhle während der Eiszeit Licht, die wiederholt gewechselt zu haben scheinen. Es scheint die Höhle eine Zeitlang hindurch nicht vom Höhlenbären besiedelt gewesen zu sein, weil sie infolge der Sickerwässer und der fließenden Höhlengewässer für ihn unbewohnbar gewesen sein dürfte. Diese Frage ist auch für die Entscheidung des Problems von der Herkunft der Phosphorsäure, die in einem sehr hohen Betrage in der Höhlenerde aufgespeichert ist (Berechnung etwa 4000—6000 Waggons mit etwa 13 %  $P_2O_5$ ) von besonderer Bedeutung, da es möglich ist, daß diese Massen von  $P_2O_5$  nicht den Exkrementen und verwesenen Leichen der Höhlenbären, sondern einer durch Fledermäuse während der Eiszeit bewirkten mächtigen Guanoablagerung ohne wesentliche Beteiligung des Höhlenbären zuzuschreiben sind.

Die in der Sitzung vom 13. Januar 1921 (siehe Anzeiger Nr. 1, 1921, p. 1) von Dr. *Karl Holdhaus* übersendete Mitteilung: **Über die Auffindung von Trias im Königstuhlgebiet in Kärnten** hat folgenden Inhalt: Im Königstuhlgebiet in Kärnten liegen unter den Konglomeraten und pflanzenführenden Schiefen des Oberkarbons mächtige Dolomite und Kalke, deren geologisches Alter bisher durch Fossilfunde nicht mit Sicherheit festgestellt war. Infolge ihrer konkordanten Lagerung unmittelbar unter dem fossilführenden Oberkarbon wurden diese Kalke allgemein als einem tieferen Niveau der Kohlenformation zugehörig betrachtet. Die große Ähnlichkeit der Dolomite mit den Triasdolomiten

der Katschberggegend, die Auffindung von dunklen Schiefen und Kalken, in welchen ich ein Äquivalent der Pyritschiefer der Radstädter Tauern und des Tschaneck erkennen zu dürfen glaubte, endlich das Vorkommen von Serizitschiefern vom Typus der Katschbergschiefer im Kremsgraben und Heiligenbachgraben legten die Möglichkeit nahe, in der Dolomitregion des Königstuhlgebietes eine Fortsetzung des Bauplanes der Katschberggegend zu erblicken. Ich gelangte in dieser Weise zur Überzeugung, daß die Dolomite und Kalke des Königstuhlgebietes trotz ihrer Lagerung unterhalb des Karbons als Trias anzusprechen seien, und es erschien nun wünschenswert, die Richtigkeit dieser Annahme durch Fossilfunde zu erweisen. Die Durchführung dieser Aufgabe war sehr zeitraubend. Die Dolomite und Kalke sind auf weite Erstreckung vollkommen fossilleer, und erst nach langem Suchen gelang es mir, Versteinerungen aufzufinden. Die Fundstelle dieser Versteinerungen liegt im obersten Teil des Eisentales, einer Seitenschlucht des Loibengrabens. Etwa 50 m oberhalb der Baumgrenze gelangt man aus dem Dolomit in ein Niveau von dunklen Tonschiefern und grauen Kalken, welche nach Art der rhätischen Kalke stellenweise in großer Menge unbestimmbare Bruchstücke von Mollusken- und Brachiopodenschalen enthalten. Darüber lagern in einer Mächtigkeit von wenigen Metern dünnplattige Kalke, in welchen ich zahlreiche, teilweise recht gut erhaltene Exemplare von *Cardita austriaca* *Hauer*, ferner *Taeniodon praecursor* *Schlönb.*, sowie zwei bisher unbestimmte Gastropodenarten auffand. Oberhalb dieser *Cardita*-führenden Bänke folgen ziemlich mächtige, dunkle Kalke, welche ganz durchsetzt sind von Korallenresten der Art *Thecosmilia clathrata* (*Emm.*) *Frech*. Darüber die Quarzkonglomerate des Karbons. Durch die genannten Fossilien erweisen sich die Kalke als obertriadisch.

Durch die in solcher Weise gewonnenen Erkenntnisse bietet die Tektonik des Königstuhlgebietes nunmehr ein ganz verändertes Bild. Folgende Zusammenhänge seien besonders hervorgehoben:

1. In den randlichen Teilen der Intrusivmasse der Bundschuhgneise treten im Kremsgraben serizitische Schiefer auf, welche mit dem von *Becke* als „Katschbergschiefer“ beschriebenen Gestein weitgehend übereinstimmen.

2. Die Dolomite und Kalke, welche im oberen Kremsgraben auftreten und von hier in zusammenhängendem Zuge ostwärts bis in die Fladnitz, südwärts bis in die Gegend von St. Oswald verfolgt werden können, gehören der Triasformation an. Ob der Kontakt der Trias mit dem Grundgebirge als normale Auflagerung oder als Überschiebung zu deuten ist, läßt sich auf Grund der gegenwärtig vorliegenden Beobachtungen nicht mit Sicherheit entscheiden. Jura vermochte ich bisher nicht nachzuweisen.

3. Das limnische Oberkarbon liegt auf weite Erstreckung als Schubmasse über dem Mesozoikum. In dem von mir untersuchten Gebiete zwischen Turrach und der Innerkrems stößt das Karbon überall an mesozoische Sedimente, nirgends ist eine Berührung der karbonischen Gesteine mit dem Grundgebirge nachweisbar. Hingegen ist nach den Angaben von *V. Pichler* viel weiter im Süden, bei Kleinkirchheim, ein Auskeilen der triadischen Dolomite und Kalke zu beobachten, so daß hier das Karbon direkt dem Grundgebirge aufliegt. Auch in dem Raume südlich von Fladnitz scheint das Karbon unmittelbar auf kristallinen Schiefen zu ruhen.

Verschiedene tektonische Fragen, die infolge der Lage des Gebietes nahe der Grenze des „Tauernfensters“ besonderes Interesse beanspruchen könnten, werden sich erst nach weiteren eingehenden Untersuchungen beantworten lassen. Die Trias des Königstuhlgebietes ist ein Teil des höchst merkwürdigen Rahmens mesozoischer Gesteine, der die Hohen Tauern allseitig umgürtet.



10. März 1921.

Mitteilungen aus der Biologischen Versuchsanstalt der Akademie der Wissenschaften in Wien (Zoologische Abteilung, Vorstand: H. Przibram). Nr. 55. *Notizen über die Regeneration der Vorderbeine in verschiedenen Gattungen von Mantiden*, von A. Landsborough Thomson, London. Die Mantidae sind durch die starken, zum Erfassen der Beute eingerichteten Vorderbeine charakterisiert, die nicht der Autotomie unterliegen. Die mittleren und hinteren Beinpaare können sowohl autotomieren als auch regenerieren. Przibram fand, daß Amputation des Vorderbeines auf genügend früher Entwicklungsstufe sowohl bei *Mantis religiosa* als auch *Sphodromantis bioculata* von Regeneration gefolgt war. Es schien wünschenswert, Przibrams Versuche auf andere Formen auszudehnen, wozu die japanische *Parathenodera angustifolia* und die nordamerikanische *Stagmomantis carolinensis* gewählt wurden. In mehreren Fällen war das regenerierte Gebilde eine fast vollständige Wiederholung in miniature der verlorenen Teile, hauptsächlich in der reduzierten Anzahl der Tarsalglieder differierend. Von Vorderbeinen, auf einem früheren Stadium verloren, waren die regenerierten Teile kaum kleiner als die entsprechenden Teile der gegenüberstehenden Gliedmaßen. Zwei Serien von *Sphodromantis* wurde das zugehörige Ganglion mit einer heißen Nadel punktiert. Obzwar normale Regeneration in fast allen überlebenden Fällen erfolgte, so verloren diese an Interesse durch die Wiederkehr der Beweglichkeit des Beines, welches das Fehlschlagen der Ganglienoperation anzeigte.

Mitteilungen aus der Biologischen Versuchsanstalt der Akademie der Wissenschaften in Wien (Zoologische Abteilung, Vorstand: H. Przibram). Nr. 56. *Verpuppung kopfloser Raupen*, von Hans Przibram. Zur Ausschaltung der Augen von Raupen bei Farb Anpassungsversuchen mit Schmetterlingspuppen hatte die Kausterisation der Oberflächen beider Augen das Erlöschen der Anpassungsfähigkeit an die Farbe des Untergrundes ergeben. Um dem von Dürken erhobenen Einwand zu begegnen, die gleiche Färbung der Kohlweißlingspuppen auf verschiedenfarbigem Untergrunde sei der bei der Kausterisation unvermeidlichen Wärmewirkung zuzuschreiben, wurden auf kaltem Wege die Augen durch Abschnüren des ganzen Kopfes mittelst Bindfadens ausgeschaltet. Sowohl beim Kohlweißling, *Pieris brassicae*, als auch bei Fuchsranten, *Vanessa Jo* und *V. urticae*, erwies sich der Prozentsatz der nach solcher Köpfung sich verpuppenden Raupen höher als nach Kausterisation. Die Farb Anpassung blieb durchwegs bei den geköpften ebenso wie bei den kausterisierten aus.

Mitteilungen aus der Biologischen Versuchsanstalt der Akademie der Wissenschaften in Wien (Zoologische Abteilung). Nr. 57. *Die Replantation von Augen*. I. *Die Methode autophorer Transplantation*, von Hans Przibram. „Autophore“ oder selbsthaltende Verpflanzung von Körperteilen, zu deren Festhaltung die normal tätigen Kräfte des als Pfropfstamm dienenden Lebewesens nötig sind, wurde vor zwanzig Jahren bei der Umtauschung der Scheiben von Haarsternen verwendet, welche mittelst Tentakelchen die Scheibe an den Kelchboden andrücken. Eine Replantation der Augen kann selbst bei Säugetieren nach derselben Methode vorgenommen werden, wobei die Augäpfel durch Luftdruck und Lidschluß an Ort und Stelle festgehalten werden (wie Pardo für Amphibien schon 1906 beschrieben hatte). Die autophoren Transplantationen haben den Vorteil, daß die Gewebe genau zueinander passen. Die Überlegenheit der Methode zeigt sich in der Vereinigung entwickelter Tiere aus verschiedenen Tierklassen („dysplastische“ Transplantation). Die autophore Transplantationsmethode ist weiterer Ausdehnung sowohl auf theoretische als auch praktische Probleme fähig.

Mitteilungen aus der Biologischen Versuchsanstalt der Akademie der Wissenschaften in Wien (Zoologische Abteilung; Vorstand: H. Przibram). Nr. 58. *Die Replantation von Augen*. II. *Haltbarkeit und Funktionsprüfung bei verschiedenen Wirbeltierklassen*, von Theodor Koppányi. Die Augäpfel von Wirbeltieren wurden nach der autophoren Methode (vgl. Przibram, diese Arbeit, I. Teil) in Narkose entnommen und wieder in eine Augenhöhle verpflanzt, „Replantation“, im Gegensatz zur „Deplantation“ an anderen Körperstellen. Die autophor replantierten Augen von Fischen, Amphibien und Säugetieren können einheilen und monatelang erhalten bleiben. Eine Grenze konnte bisher nicht festgestellt werden, da Exemplare seit Beginn der Versuche bis zum Tage der Niederschrift noch (in manchen Fällen über 5 Monate) am Leben sind und ihre zweiten Augen beibehalten haben. Nach relativ kurzer Zeit pflegen die Augen wenigstens passiv wieder drehbar zu werden, bei Kaltblütern ist Korneal- und Pupillenreflex aufgetreten, was bei deplantierten Augen nicht beobachtet worden ist, die Lider der Säuger funktionieren von Anfang an normal. Die replantierten Augäpfel unterscheiden sich dann bei Betrachtung ohne optische Hilfsmittel äußerlich höchstens durch die tiefere Lage von normalen, können jedoch in speziellen Fällen weitgehende Veränderungen ihrer Form und Farbe erleiden, die sie dem Wirtstiere ähnlicher machen. Die Versuchstiere mit replantierten Augen verhalten sich sowohl in der positiven Phototaxis gegen schwaches Licht, als in der negativen gegen starkes ganz ebenso wie die normalen, nicht aber wie die Augenlosen. Die Flucht vor starkem Licht ist nicht auf Wärmewirkung zurückzuführen. Blinde Tiere sind uneteter und ängstlicher als normale, die mit transplantierten Augen verhalten sich auch in dieser Beziehung wie die normalen. Urodeien mit normalen oder replantierten Augen nehmen Futter, Froschlurche schnappen nach Fliegen, während blinde überhaupt keine Nahrung zu sich nehmen. Amphibien mit normalen und replantierten Augen und Muriden vermögen allen Gegenständen beim Laufen auszuweichen, blinde hingegen nicht. Ratten mit normalen und replantierten Augen folgen der Bewegung eines Stabes mit dem Kopfe nach, nicht aber blinde. Die ophthalmoskopische Untersuchung der replantierten Augen ergab, daß vom Augenfundus der Amphibien wohl ein weißliches Licht kommt, aber bei den Rattenaugen konnte kein rotes Licht aus der Mitte herausbekommen werden. Es bleibt noch abzuwarten, wie sich der anscheinende Widerspruch zwischen diesen Befunden und der Lichtempfindlichkeit der Säuger mit replantierten Augen aufklären wird. Die näheren Umstände der Opticusvereinigung bei jenen Fällen, bei denen es zu dieser gekommen ist, werden der anatomisch-histologischen Untersuchung vorbehalten. Die Möglichkeit solcher Vereinigungen ist übrigens für Molche durch Pardo, für Säuger durch Ramon y Cajal und seine Schüler histologisch festgestellt.

Mitteilungen aus der Biologischen Versuchsanstalt der Akademie der Wissenschaften in Wien (Zoologische Abteilung, Vorstand: H. Przibram). Nr. 59. *Die Puppenfärbungen der Vanessa* (Vanella Jo, V. urticae, *Pyrameis cardui*, P. atalanta) von Leonore Brecher. Experimentell entstehen die dunkelsten Puppen von *Vanessa Jo*, V. urticae, *Pyrameis cardui*, P. atalanta auf schwarzen, die hellsten auf weißen, die Goldpuppen auf gelbreflektierenden, die mittleren auf neutral wirkenden Flächen und in Finsternis. Auch metallglänzende Flächen wirken nur durch die von ihnen reflektierten Farbqualitäten (nicht durch den Polarisationszustand des Lichtes) auf die Puppenfärbung ein. Die Wirkung schwarzer Flächen beruht wie bei *Pieris brassicae* auf der von Schwarz reflektierten ultraviolette, die weißer Flächen auf den ultraroten Strahlen. Nicht nur das von farbigen Flächen reflektierte, sondern auch durch farbige Filter durchgelassenes Licht hat dieselbe spe-



zifische Wirksamkeit auf die Puppenfärbung. Jedoch entstehen auf roten Flächen dunkle, unter Rotfiltern Goldpuppen. Dieser Unterschied findet seine Erklärung in der Absorption der ultravioletten Strahlen durch die verwendeten Filter. Ein ähnlicher Unterschied betrifft das (Blau-)Grün. Entfernung der Augen hebt die Farbanpassung auf, Überstreichen läßt sie zu, es erlischt aber die spezifische Strahlenwirkung schon bei höherer Intensität des Lichtes.

Mitteilungen aus der Biologischen Versuchsanstalt der Akademie der Wissenschaften in Wien (Botanische Abteilung, Vorstand: L. Portheim). Nr. 60. Über das Wachstum von Raphanuskeimlingen im kohlenstofffreien Raume, von Elly Fürth†. Keimlinge vom *Raphanus sativus* im CO<sub>2</sub>-freien Raume gezogen, verzweigen. Ihre Organe zeigen aber nicht die für Keimlinge gleichen Alters, welche in Luft von normalem CO<sub>2</sub>-Gehalte gezogen wurden, geltenden Größenverhältnisse, sondern nehmen eine Stellung zwischen normalen und etiolierten Keimlingen ein. Auch was die Wachstumsintensität betrifft, ähneln die CO<sub>2</sub>-frei gezogenen Keimlinge den etiolierten. Die Bildung von Anthokyan ist bei den CO<sub>2</sub>-frei gezogenen Pflänzchen ebenfalls eingeschränkt. Alle diese Tatsachen sprechen dafür, daß der Verhinderung der Assimilation eine nicht unwichtige Rolle beim Zustandekommen der etiolierten Formen mancher Pflanzen zukommt.

#### 6. Mai 1921.

Das w. M. Hofrat Prof. Hans Molisch überreicht eine von Dr. Franz Ruttner ausgeführte Arbeit unter dem Titel: Das elektrolytische Leitvermögen verdünnter Lösungen unter dem Einfluß submerser Gewächse. Messungen des elektrolytischen Leitvermögens verdünnter Lösungen bilden in der Hand des Biologen ein vortreffliches Mittel, um Konzentrationsveränderungen in natürlichen und künstlichen Nährlösungen in sehr einfacher und zuverlässiger Weise quantitativ festzustellen, und sind geeignet, über die Aufnahme und Abgabe von Elektrolyten durch die in diesen Nährlösungen kultivierten Organismen Aufschluß zu geben. In der vorliegenden Arbeit wurde diese Methode hauptsächlich auf die Untersuchung des Kohlensäurehaushaltes submerser Gewächse angewendet und dargetan, daß es möglich ist, auf diese Weise einerseits die Assimilation der Bicarbonatkohlensäure und die damit verknüpften Vorgänge durch vergleichende Untersuchungen genau zu beobachten, andererseits aus der Leitfähigkeitsabnahme in Calciumbicarbonatlösungen die Menge der assimilierten CO<sub>2</sub> mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen.

#### 12. Mai 1921.

Das k. M. Hofrat A. Waßmuth in Graz übersendet eine Arbeit: Kurze Begründung des Maxwell-Boltzmannschen Verteilungsgesetzes folgenden Inhaltes: An der Hand der von Boltzmann und Gibbs gegebenen zwei Analogien der Entropie  $s_n$  eines Systems von  $n$  Partikeln findet Waßmuth für die Wahrscheinlichkeit  $dw$  dafür, daß ein Partikel mit seinen Phasen nur das geringe Intervall  $di$  durchlaufe, sofort den Ausdruck:

$$dw = d\tau_1 \cdot a e^{\frac{-\varepsilon_n + \varepsilon_{n-1}}{\kappa T}} = d\tau_1 \cdot a e^{\frac{-\varepsilon_1}{\kappa T}}$$

d. i. das Maxwell-Boltzmannsche Verteilungsgesetz, dabei stellen vor  $\varepsilon_n$  und  $\varepsilon_{n-1}$  die Energie für  $n$  resp.  $n-1$  Partikeln,  $\varepsilon_1 = \varepsilon_n - \varepsilon_{n-1}$  die des 1. Partikels,  $T$  die Temperatur,  $\kappa T$  den Modul und es ist die Konstante

$a = e^{\frac{\psi_n - \psi_{n-1}}{\kappa T}}$  eine Funktion der freien Energien  $\psi_n$  und  $\psi_{n-1}$ , bestimmbar aus;  $1 = \int e^{\frac{\psi - \varepsilon}{\kappa T}} d\lambda$  oder ein-

$$\text{facher aus: } 1 : a = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{\frac{-\varepsilon_1}{\kappa T}} dT_1, \text{ was mit } \int dw_1 = 1$$

übereinstimmt. An Beispielen folgen: Ideale und nicht ideale Gase, Wirken der Schwerkraft (barom. Höhenmesser), Magnetisierungstheorie nach Langevin u. Weiß, große Zahl schwingender Punkte, Schwankungen der Dichte in Gasen (nach Smoluchowski).

#### 27. Mai 1921.

Das k. M. Prof. Josef Schaffer übersendet eine vorläufige Mitteilung, betitelt: „Über die Seitendrüsens von *Microtus terrestris* L.“. Nach den vorliegenden Angaben stellen diese entweder reine Haarbalgdrüsen dar, wie die Glandula caudalis beim Meerschweinchen, die Violdrüse beim Fuchs oder eine Mischung von Schweiß- und Talgdrüsen, wie die Rückendrüse von Dicotyles, oder es handelt sich endlich um reine Talgdrüsen, ohne jede Beimengung von Haarbalgdrüsen, wie bei den spezifischen Drüsen der Bisamratte und den Präputialdrüsen anderer Tiere.

Das w. M. Hofrat E. Lecher legte eine Abhandlung aus dem I. Physikalischen Institut der Universität Wien von Dr. Karl Horowitz vor mit dem Titel: Beiträge zur Theorie des Sehraums. Es wird die Auffassung des Sehraums des ruhenden Auges als eines Reliefs im einzelnen durchgeführt und gezeigt, daß diese Betrachtungsweise die beobachteten optischen Wahrnehmungen verständlich macht. Die Veränderungen des Reliefs durch Verlegung des Gesichtspunktes finden sich in den Erscheinungen der Mikropsie und Makropsie, für deren Zustandekommen angenommen wird, daß eine Störung der Abbildung Innervationsimpulse und Bewegungen zur scharfen Einstellung auslöst, soweit diese das Bild nicht unschärfer machen. Daraus wird die Folgerung gezogen, daß eine Änderung der Sehschärfe mit einer Änderung der Größenwahrnehmung verbunden ist und diese Folgerung durch verschiedene Versuche bestätigt (Änderung der Sehschärfe durch Blendung, Änderung der Beleuchtungsintensität und der Farbe). Die bekannten Versuche über den Einfluß von Blenden werden erklärt und bestätigt.

Mitteilungen aus der Biologischen Versuchsanstalt der Akademie der Wissenschaften in Wien (Zoologische Abteilung, Vorstand H. Przibram). Nr. 61. Veränderung der Melaninmenge beim Farbwechsel der Fische (*Esox*, *Carassius*, *Phoxinus*, *Gobius*, *Nemachilus*), zugleich: Ursachen tierischer Farbkleidung, von Tokuyasu Kudô (Niigata, Japan). Preßsäfte aus der Haut von Fischen schwärzen sich an der Luft. Aus ihnen läßt sich eine wirksame Tyrosinase bereiten. Die Tyrosin in der Epruvette schwärzt. Demnach kann das dunkle Pigment der Fische als ein auf fermentativem Wege entstandenes Melanin angesehen werden. Um die Frage zu entscheiden, ob die Zunahme der schwarzen Färbung nach Blendung oder sonst verschiedenen ebenso wirkenden Umständen nicht bloß auf einer Expansion der Melanophoren beruhe, sondern auf einer wirklichen Vermehrung der Melaninmenge, wurden normalhelle und künstlich geschwärzte Fische auf den Melaningehalt analoger Hautstücke hin untersucht. Weder in den Extrakten der hell gefärbten, noch der geschwärzten Fische sind sternförmige oder verästelte Körnchen zu sehen, welche auf ein Übrigbleiben von Chromatophoren im Expansionszustande schließen ließen.

#### 16. Juni 1921.

Prof. Dr. Othenio Abel übersendet den zweiten Bericht über seine Ausgrabungsarbeiten in der Drachenhöhle bei Mixnitz in Steiermark. Die Fortsetzung der Ausgrabungen in der Drachenhöhle bei Mixnitz hat eine Reihe wichtiger Aufschlüsse und Funde geliefert. Die überwiegende Mehrzahl der bisher gefundenen Reste eiszeitlicher Säugetiere gehört dem Höhlen-



bären an, neben dem alle anderen Elemente der Höhlenfauna weit zurücktreten. Indessen sind wieder einige Reste des Höhlenlöwen, des Wolfes, des Alpensteinbockes usw. zum Vorschein gekommen.

Dr. Otto Antonius übersendet einen vorläufigen Bericht über die Untersuchung der Höhlenbärenschädel aus der Drachenhöhle bei Mixnitz. Die Untersuchung ergab das Vorhandensein zweier in der Größe sehr verschiedener Typen, von denen besonders der viel häufigere große (Basilarlänge 430–450 mm) durch die enorme Variabilität, die sich nur mit jener des Haushundschädels vergleichen läßt, auffällt. Erklärung dieser Variabilität durch Alter oder Geschlecht ist unmöglich, sie ist vielmehr offenbar als ein Analogon zu der durch die Domestikation hervorgerufenen bei unseren Haushunden, somit als eine Art Domestikationserscheinung im weiteren Sinne aufzufassen.

#### 7. Juli 1921.

Das w. M. Hofrat G. Jäger überreicht eine Abhandlung von Dr. Adolf Smekal mit dem Titel: Über die Beziehungen zwischen klassischer und Quantenstatistik (vorläufige Mitteilung). Es wird gezeigt, daß bei der Berechnung der sogenannten „thermodynamischen Wahrscheinlichkeit“ die Form der Elementargebiete der Wahrscheinlichkeit, im Gegensatz zu ihrer absoluten Größe, nicht willkürlich sein kann, wenn der II. Hauptsatz der Thermodynamik befriedigt werden soll. Es ergibt sich so in der klassischen statistischen Mechanik eine ähnliche Struktur des Phasenraumes wie die von Planck in der Quantentheorie geforderte, nur bleibt darin die Elementargebietegröße unbestimmt.

Das w. M. Hofrat Franz Exner überreicht die folgenden Abhandlungen:

1. Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung. Nr. 138. Über Phosphoreszenz durch Becquerelstrahlen verfarbter Mineralien, von Karl Przibram. Der durch Becquerelstrahlen grün verfarbte Kunzit zeigt nach Belichtung mit Bogenlicht und selbst mit diffusum Tageslicht ein langandauerndes Nachleuchten, der natürliche, unverfarbte oder durch Erhitzen wieder entfärbte dagegen nicht. Das Nachleuchten tritt nach Blau- und Rotbestrahlung, nicht aber nach Grünbestrahlung auf. Es werden Gründe dafür vorgebracht, daß der verfarbte Kunzit als Phosphor im Sinne der Lenardschen Erdalkaliphosphore anzusehen ist, und daß die blauen Strahlen erregend, die roten „ausleuchtend“ wirken. Eine ähnliche, nur weniger ausgesprochene Wirkung zeigt auch verfarbter Flußspat.

2. Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung. Nr. 139. Über die photographischen Wirkungen der Becquerelstrahlen, von Karl Przibram. Die Beobachtungen E. Mühlesteins über die Verminderung der Quellbarkeit der Gelatine und über Solarisation photographischer Platten durch  $\alpha$ -Strahlen werden bestätigt und überdies „direkte Schwärzungen“ und „zweite Negative“ mit diesen Strahlen erhalten. Ganz dieselben Wirkungen ergibt die  $\beta$ - $\gamma$ -Strahlung des Radiums, und es wird darauf hingewiesen, daß sie für gewöhnliches Licht längst bekannt sind. Nur der Ausnützungsgrad der Energie scheint bei verschiedenen Strahlenarten verschieden zu sein.

3. Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung. Nr. 140. Über die Auslösung sekundärer  $\beta$ -Strahlung durch  $\gamma$ -Strahlung, von Heinrich Prelinger. 1. Es werden Versuche zur Qualitätsbestimmung der von der harten  $\gamma$ -Strahlung des Ra (B + C) in Metallen ausgelösten sekundären Elektronenstrahlung beschrieben und ihre Ergebnisse mitgeteilt. 2. Es wird zu zeigen versucht, daß den beiden Hauptkomponenten der  $\gamma$ -Strahlung zwei Typen von Sekundärstrahlung entsprechen. 3. Die Absorptionskoeffizienten der letzteren werden gleich groß gefunden wie die der primären  $\beta$ -Strahlung von Ra (B + C); aus der Einsteinschen Gleichung wird ein Schluß auf die Wellen-

länge der  $\gamma$ -Strahlung versucht; die gefundenen  $\lambda$  sind in guter Übereinstimmung mit Messungen Rutherfords und seiner Mitarbeiter. 4. Es werden die „wahren Asymmetriekoeffizienten“ der beiden  $\beta$ -Typen berechnet; die härtere Type besitzt den größeren Asymmetriekoeffizienten. 5. Es wird wahrscheinlich gemacht, daß jedem absorbierten  $\gamma$ -Impuls ein abgelöstes Sekundärelektron entspricht.

#### 14. Juli 1921.

Prof. V. Conrad übersendet eine Abhandlung: Beiträge zu einer Klimatographie der Balkanländer. Es wurden die ca. einjährigen Beobachtungen von zwanzig im Kriege errichteten Stationen auf dem Balkan, zwischen der Donau im Norden und dem Osium im Süden, gemeinsam mit einigen langjährigen Balkanstationen diskutiert. Von besonderem Interesse sind die enormen Temperaturdifferenzen, die im Winter zwischen der Bocche di Cattaro und dem montenegrinischen Hinterland auftreten, sowie Besonderheiten in der vertikalen Temperaturverteilung im Sommer. Die Jahresniederschläge variieren im betrachteten Gebiete zwischen  $3\frac{1}{2}$  und 0,7 m. Manche Sommermonate im albanischen Tieflande weisen Bewölkungsmittel unter 2 auf. Die maximale Dürreperiode betrug 81 Tage. Es wird noch der Versuch unternommen, durch Häufigkeitsauszählungen ein besseres Bild von den Wirkungen des albanischen Klimas auf den Menschen zu erhalten, als dies durch die gewöhnlichen Mittelwerte erzielbar ist.

Das w. M. Hofrat Franz Exner legt folgende Arbeit vor: Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung. Nr. 141. Die Eindringungstiefe der radioaktiven Rückstoßatome in Kupfer und Nickel, von Ernst Rie. Vermittels durch Elektrolyse hergestellter Kupfer- und Nickelschichten wurde festgestellt, daß die mittlere Eindringungstiefe der aus Radiumemanation entstandenen Restatome in die erwähnten Metalle ca. 10  $\mu$  beträgt. Durch weitere Versuche wurde nachgewiesen, daß die von Godlewski angegebene Messungsmethode der Eindringungstiefe in dünne Metallfolien nicht einwandfrei ist.

Das w. M. Hofrat Dr. Hans Molisch überreicht eine im Pflanzenphysiologischen Institut von Frl. Dr. Angela Piskernik ausgeführte Arbeit unter dem Titel: Über die Einwirkung fluoreszierender Farbstoffe auf die Keimung der Samen.

1. Werden Samen von *Pisum sativum*, *Vicia sativa*, *Lens esculenta*, *Sinapis albo*, *Triticum durum*, *Brassica oleracea*, *Lepidium sativum*, *Beta vulgaris* und *Spinacia* in fluoreszierenden Farbstoffen durch 24 Stunden hindurch quellen gelassen und dann zur Keimung ins Licht gestellt, so treten Erscheinungen auf, welche, da sie im Dunkeln nicht oder nur in geringem Maße beobachtet werden, als Folgen photodynamischer Wirkung angesehen werden müssen. Diese Erscheinungen umfassen Keimungs- sowie Wachstumshemmungen und andere Schädigungen verschiedener Art (Verlust des Richtungsvermögens, Fehlen von Wurzelhaaren oder ihre mangelhafte Ausbildung, vielfach gewundene und gerunzelte Wurzeln usw.).

3. Der Grad jedweder Schädigung ist abhängig von der Stärke des Lichtes, der Art des fluoreszierenden Farbstoffes und seiner Konzentration, und zwar in der Weise, daß mit der Lichtintensität und der Farbstoffkonzentration auch die photodynamische Wirkung zunimmt. Von den verwendeten Farbstoffen haben die größte Schädigung hervorgerufen Eosin, Safranin, Erythrosin und Magdalarot, weniger stark wirkten Methylenblau, Rhodamin und Diazoresorcin, während der am schönsten fluoreszierende Farbstoff, das Fluorescein, eine sehr geringe lichtkatalytische Wirkung ausübte.

Mitteilungen aus der Biologischen Versuchsanstalt der Akademie der Wissenschaften in Wien (Zoologische Abteilung; Vorstand: H. Przibram). Nr. 61. Die Replantation von Augen. III. Die Physiologie der



**replantierten Säugeraugen, von Theodor Koppányi.** Bei der Überpflanzung des Rattenauges benützte K. zur Festhaltung der an die normale Stelle und in die richtige Lage aufgefropften Bulbi eine feine Insektennadel oder einen Silberdraht, mit welchem man die Ränder der beiden gegenüberliegenden Lider durchsticht. Diese Mittel sind nach 12 bis 24 Stunden zu entfernen, die Augäpfel können dann nicht mehr herausfallen. In den ersten Tagen nach der Verpflanzung der Bulbi sind die Pupillen maximal dilatiert und die Augäpfel zeigen auf stärkere mechanische Reize keinen Kornealreflex. Den siebenten Tag kann man jedoch schon Kornealreflexe wahrnehmen und auch träge Pupillarreflexe, die mit fortschreitender Zeit immer prompter werden. K. konnte nunmehr nicht bloß die bereits früher gemeldete Lichtempfindlichkeit, sondern auch das „Bildsehen“ an den Versuchstieren nachweisen. Ratten mit transplantierten Augen, wie auch die normalen, springen in den vorgehaltenen Transportkäfig, auch aus einer solchen Entfernung, aus der sie die Grenzen der Käfigtüre mit den Spürhaaren nicht austasten können. Geblendete Tiere tun dies nicht.

**Mitteilungen aus der Biologischen Versuchsanstalt der Akademie der Wissenschaften in Wien (Zoologische Abteilung, Vorstand: H. Przibram). Nr. 62. Die Replantation von Augen. IV. Über das Wachstum der replantierten Augen, von Theodor Koppányi.** Die an ziemlich vielen Wirbeltiertypen ausgeführten Augenverpflanzungsversuche liefern betreffs der Proliferation der Replante folgende Resultate: In allen diesen Fällen, bei welchen der physiologische Nachweis der vollen Funktionsfähigkeit der Replante gelang, sind die verpflanzten Bulbi (bei homoioplastischer Transplantation) in normalem Maße gewachsen. Es ist auch festgestellt worden, daß bei diesen Fällen auch die normale Vaskularisation hergestellt worden war. Bei heteroplastischer Vereinigung wächst das funktionierende Transplantat auch weiter, die Wachstumsgeschwindigkeit ist nicht die der Augen des Wirtes, sondern der überpflanzten Augen. Molge vulgaris-Augen wachsen im Salamanderkörper, aber in der Geschwindigkeit des Teichmolches und überholen auch nicht die Größe des maximalen Teichmolchauges.

**Mitteilungen aus der Biologischen Versuchsanstalt der Akademie der Wissenschaften in Wien (Zoologische Abteilung, Vorstand H. Przibram). Nr. 63. Kopftransplantation an Insekten. I. Funktionsfähigkeit replantierter Köpfe, von Walter Finkler.** W. hat die autophore Transplantationsmethode Przibrams auf die Wiedereinsetzung ganzer Insektenköpfe angewendet. Mit Erfolg wurden Transplantationen an 1. der Imago von *Hydrophilus piccus* Geoff., 1a. *Ditiscus marginalis* L., 2. *Notonecta*-Arten, 3. an der Imago und Larve von *Diaprepes morosus* Burm., 4. Larven von *Tenebrio molitor* L. und 5. an Puppen von *Vanessa* L. und *urticae* L. ausgeführt. Um die Funktionsfähigkeit des transplantierten Kopfes prüfen zu können, wurde zunächst das Verhalten geköpfter Insekten untersucht. Ein dekapitierter *Hydrophilus* kann keine koordinierten Bewegungen ausführen. Die Bewegung geköpfter Stabheuschrecken sind von denen normaler Tiere sehr deutlich verschieden. Die Tiere mit transplantierten Köpfen werden so lange in feuchten Kammern gehalten, bis koordinierte Bewegungen auftreten, was ungefähr nach 2 bis 3 Wochen eintritt. Während der ersten Woche bildet sich zwischen Kopf und Thorax ein Bindegewebe. Nach 1 bis 2 Monaten hat der Kopf seine volle Funktionsfähigkeit wieder erlangt. Die Wasserkäfer schwimmen bereits in die Tiefe. Die Tiere fressen und defäzieren. Alle Ausfallseigenschaften des dekapitierten Tieres sind geschwunden.

**Mitteilungen aus der Biologischen Versuchsanstalt der Akademie der Wissenschaften in Wien (Zoologische Abteilung, Vorstand H. Przibram). Nr. 64. Kopftransplantation an Insekten. II. Austausch von *Hydrophilus*-Köpfen zwischen Männchen und Weibchen, von**

**Walter Finkler.** In der ersten Mitteilung ist die Replantationsmöglichkeit von Insektenköpfen geschildert worden. Dieser Austausch läßt sich auch zwischen verschiedenen Geschlechtern (xenoplastische Transplantation) durchführen. Es sollte nun geprüft werden, wie sich die Geschlechtsinstinkte bei solchen xenoplastisch operierten Tieren verhalten. Das normale Männchen von *Hydrophilus piclus* haftet sich bei den Vorbereitungen zur Kopula mit dem vorderen Beinpaar am Thorax des Weibchens fest, während das letzte Beinpaar die Ruderfüße des Weibchens festhält und das mittlere Paar frei ist und zu langsamen Fortbewegungen dient. Das Weibchen verhält sich passiv. Die Köpfe wurden zwischen Männchen und Weibchen ausgetauscht, die vorher getrennt gehalten worden waren. Nachdem die vollständige Einheilung eingetreten war, wurden die Tiere in den verschiedenen Geschlechtskombinationen zu je zwei in ein Gefäß im Wasser gegeben und weiter beobachtet.

- a) Weibchen mit Männchenkopf trafen die oben geschilderten Vorbereitungen zur Kopula, verhielten sich also so, als ob sie Männchen wären, und zwar besprangen sie bloß weibliche Exemplare. Von normalen Männchen wurden sie weiterhin als Weibchen behandelt;
- b) Männchen mit Weibchenkopf verhalten sich beiden Geschlechtern gegenüber — wie normale Weibchen — ganz passiv. Nie wurde eine Vorbereitung zur Kopula beobachtet. Normale Männchen blieben ihnen gegenüber gleichgültig.

**Mitteilungen aus der biologischen Versuchsanstalt der Akademie der Wissenschaften in Wien (Zoologische Abteilung, Vorstand H. Przibram). Nr. 65. Die Replantation der Krystalllinse entwickelter Tiere. I. Versuche an Fischen und Amphibien, von Bertold Paul Wiesner.** Es stand zu erwarten, daß sich die autophore Methode nach Przibram auf die Krystalllinse der Wirbeltiere werde anwenden lassen, weil hier die Bedingungen für die Festhaltung und Ernährung des Implantates ohne körperfremde Zwangsmittel gesichert erschienen. Als Versuchstiere dienten zunächst junge und arterwachsene Exemplare von *Perca vulgaris* Schaffer, Flußbarsch; *Tinca vulgaris* Cuv., Schleie; *Carassius vulgaris* Niess, Karausche; *Leuciscus cephalus* L., Aitel. An diesen Tieren gelang sowohl die auto- und homoplastische Linsenreplantation als auch die heteroplastische durch Austausch der Linsen dieser Arten untereinander.

### 13. Oktober 1921.

Das w. M. Hofrat J. Hepperger legt eine Arbeit von Prof. Dr. Robert Sterneck in Graz vor mit dem Titel: **Die Gezeiten der Ozeane** (II. Mitteilung). Wie in der ersten Mitteilung die halbtägige, so wird in der vorliegenden zweiten die ganztägige Gezeitenwelle in den Ozeanen in einheitlicher Weise untersucht. Als ganztägige Flut wird die aus den Partialtiden  $K_1$  und  $O$  zusammengesetzte Welle betrachtet, über die man in Harris' „Manual of Tides“ Daten für etwa 500 Orte zusammengestellt findet. Eine Weltkarte der Flutstundenlinien für die Eintagstiden ist auf einer der Abhandlung angefügten Tafel wiedergegeben.

### 20. Oktober 1921.

Das w. M. Hofrat Franz Exner legt folgende Abhandlung vor: **Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung. Nr. 142. Über die chemischen Wirkungen der durchdringenden Radiumstrahlung. 13. Über die Bildungsgeschwindigkeit und das Gleichgewicht des Wasserstoffsuperoxyds, von Anton Kailan.** Unter dem Einflusse der von 1 mm Glas durchgelassenen Strahlen von 0,1 g Radiummetall enthaltenen Präparaten sind im Gleichgewichte bei 5 bis 9° unter den Versuchsbedingungen in 100 cm<sup>3</sup> lufthaltigen und mit Luft in Berührung befindlichen Wassers 6,10<sup>-6</sup> Grammäquivalente Wasserstoffsuperoxyd vorhanden,



die auf  $10^{-4}$ , bzw.  $5 \cdot 10^{-4}$  ansteigen, bei gleichzeitiger Anwesenheit von 0,001 bzw. 0,1 Grammäquivalenten Schwefelsäure. In der Sekunde entstehen im reinen Wasser  $3 \cdot 10^{12}$ , in den beiden Schwefelsäurelösungen  $6 \cdot 10^{12}$  Molekeln Wasserstoffsperoxyd. Diese Zahlen sind von der gleichen Größenordnung wie die Zahl der Ionenpaare, die von dem absorbierten Teil der Strahlung bei dessen vollständiger Absorption in Wasserdampf erzeugt worden wären.

#### 27. Oktober 1921.

Das k. M. Prof. Dr. S. Oppenheim überreicht eine Abhandlung mit dem Titel: **Über die scheinbare Verteilung der Sterne.** In den Berichten der Sternwarte in Utrecht (Bd. 7, 1917) hat H. Nott eine von ihm durchgeführte Zählung der Sterne auf den photographischen Aufnahmen der Harvard-Map, die Sterne bis zur Größenklasse 11,5 umfassen, veröffentlicht. Die vorliegende Abhandlung versucht es, eine Diskussion dieser empirischen Zahlen durch deren Entwicklung in Fouriersche Reihen und sodann eine geometrische Deutung dieser durch ein Ellipsoid zu geben. Der Frage nach dem Zusammenhang zwischen diesem und den analogen, auf die man in der Theorie der Eigenbewegung der Sterne bei der Berechnung des Sonnenapex stößt, ist der Schluß der Abhandlung gewidmet.

#### 24. November 1921.

Das k. M. Prof. F. Emich übersendet zwei Arbeiten aus dem Laboratorium für allgemeine Chemie an der Technischen Hochschule in Graz:

1. **Über unsichtbare „Spiegel“ von Arsen, Antimon und Wismut,** von Hermann Scheucher.

2. „Über Rubidium- (Cäsium-) Silber-Goldbromid“, von Eugen Suschnig.

In der Scheucherschen Arbeit wird eine Vorschrift zur Ausführung der Bettendorffschen Reaktion im kleinen Maßstabe angegeben. Dieses „Mikro-Bettendorff“-Verfahren erlaubt den Nachweis von 1 bis 2 Hunderttausendstel Milligrammen Arsen und damit die Erkennung von unsichtbaren „Spiegeln“, wie man sie im Apparat von Marsh-Liebig-Lockemann erhält. Ebenso wird die Existenz von unsichtbaren Antimon- und Wismutspiegeln nachgewiesen, wobei die Donau-Panethschen Lumineszenzreaktionen zur Anwendung gelangen. Die Suschnigsche Arbeit bildet die Fortsetzung der E. Bayerschen Untersuchung über die Rubidium- (Cäsium-) Silber-Goldchloride (siehe Sitzungsber. der Akad. d. Wiss., math.-naturw. Kl., IIb, 129 Bd., 3. Heft, 1920, oder Monatshefte für Chemie, 41. Bd., 3. Heft, 1920).

Dr. G. Klein legt eine im Pflanzenphysiologischen Institut der Wiener Universität ausgeführte Arbeit vor, unter dem Titel: „Die Verbreitung des Hesperidins bei den Galicæ (ein neuer Fall von chemischen Rassen)“. In der Familie der Rubiaceae konnte Hesperidin nur bei der Gattung Galium in einem zusammenhängenden Artenkreis festgestellt werden. Die Arten G. Schultesii, lucidum, meliodorum und cinereum führen Hesperidin konstant in jedem Exemplar, G. rubrum, aristatum und mollengo wechselnd. Dieses wechselnde Vorkommen ist bei G. mollengo weder vom Alter, noch Standort, noch vom Klima abhängig, sondern für jedes Exemplar konstant. Es liegen wohl innerhalb der Varietäten systematisch nicht greifbare, durch den Hesperidingehalt charakterisierte chemische Rassen vor.

Die in der Sitzung vom 3. November l. J. (Anzeiger Nr. 22, S. 199) vorgelegte Abhandlung von Prof. Dr. A. Defant in Innsbruck: **Die Bestimmung der Turbulenzgrößen der atmosphärischen Zirkulation außertropischer Breiten** hat folgenden Inhalt: Zur Charak-

terisierung der ungeordneten Bewegung der Luft in der atmosphärischen Zirkulation außertropischer Breiten eignen sich statt der Austauschgröße auch die drei Spannungskomponenten der turbulenten Bewegung, die sich aus den Windbeobachtungen an einer Station ohne weiteres ermitteln lassen. An Stelle dieser kann auch zweckmäßig die vektorielle Darstellung der Hauptspannungen in der Horizontalebene treten. An speziellen Fällen wurde die Größe der Turbulenzspannungen und ihre Änderung mit der Höhe zahlenmäßig ermittelt. Die Größenordnung der Hauptspannungen ergab sich zu rund 400 bzw. 200 Dyn. cm<sup>-2</sup>, jene der maximalen Scherkraft zu 100 Dyn. cm<sup>-2</sup>. Die Spannungskomponenten lassen sich nicht nur aus den Windbeobachtungen, sondern auch aus Luftdruckbeobachtungen berechnen; die hierzu notwendigen Beziehungen wurden abgeleitet und an einem Beispiel die Berechnung derselben durchgeführt.

#### 1. Dezember 1921.

Dr. Hermann Brunswik überreicht eine im pflanzenphysiologischen Institut der Universität Wien ausgeführte Arbeit unter dem Titel: **Der mikrochemische Nachweis pflanzlicher Blausäureverbindungen.** Es werden zwei neue mikrochemische Proben auf HCN angegeben, mit 1% AgNO<sub>3</sub> bzw. Benzidin-Kupferazetat, durchzuführen in der Mikroglaskammer mit den Reagentien im hängenden Tropfen. Empfindlichkeit: 0,06 bzw. 0,02 γ HCN. — Mittels dieser Reaktionen wurden im ganzen 41 neue Blausäurepflanzen (*Ribes*, *Crataegus*, *Aracum* usw.) gefunden. — Auch zum qualitativen Nachweis des im Pflanzen- und Tierreich sehr verbreiteten *Emulsin* wurden beide Proben herangezogen.

#### 15. Dezember 1921.

Das w. M. R. Wegscheider überreicht eine Arbeit von Rudolf Hasenöhrl und Julius Zellner, betitelt: **Zur Chemie der höheren Pilze.** XV. Mitteilung, **Chemische Beziehungen zwischen höheren Pilzen und ihrem Substrat.** Im Anschluß an frühere Untersuchungen Zellners wird gezeigt, daß die bei chlorophyllarmen Phanerogamen festgestellten Regelmäßigkeiten physikalischer und chemischer Art in ausgeprägter Weise auch für die höheren Pilze gelten und somit als Charakteristica aller des Chlorophylls völlig oder größtenteils entbehrenden Gewächse gelten können. Weiters werden die chemischen Vorgänge, die sich bei der Zerstörung des Holzes durch höhere Pilze zeigen, näher untersucht.

Die in der Sitzung vom 1. Dezember l. J. (Anzeiger Nr. 25, S. 213) eingesendete Arbeit von Dr. Kamillo Altenburger: **Rollbewegung einer Kugel auf einer schiefen Ebene mit Rücksicht der Erdrotation** hat folgenden Inhalt: Ein Punkt auf der Oberfläche der Erde (geographische Breite  $\beta$ ) sei Anfangspunkt eines Linksystems  $\xi\eta\zeta$  ( $\zeta$ -Achse = entgegengesetzte Richtung des Lotes,  $\xi$ -Achse im Meridian nach Süden gezogen). Auf der vollkommen rauen schiefen Ebene vom Neigungswinkel  $\varepsilon$  und der Gleichung  $\xi \operatorname{tg} \varepsilon + \zeta - h = 0$  komme eine homogene Kugel (Masse  $M$ , Radius  $R$ ) zur Zeit  $t=0$  ohne jede Anfangsgeschwindigkeit in Bewegung. Faßt man jenen Kugeldurchmesser ins Auge, der parallel zur  $\eta$ -Achse ist, und hätte die Erde keine Rotation, so würden die aufeinanderfolgenden Berührungspunkte eine Gerade  $\Pi \perp \eta$  beschreiben und der genannte Durchmesser stets parallel zu  $\eta$  bleiben. Rotiert aber die Erde, dann beschreiben die Berührungspunkte eine parabolische Kurve (z. B. für  $h=300$  cm,  $\varepsilon=5^\circ$ ,  $\beta=47^\circ$  westl. Abweichung am Fuße der schiefen Ebene 0,85 cm) und der Durchmesser ist nicht mehr parallel zu  $\eta$ . Was die Lage des Durchmessers anbelangt, so führt die Untersuchung zu einer Differentialgleichung, die mit jetzigen Mitteln nicht gelöst werden kann.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 37. (Seite 799—822)

15. September 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Technische Festigkeit und molekulare Festigkeit.  
Von *Adolf Smekal, Wien*. (Mit 1 Abbildung.) S. 799.  
Riffkorallen im Nordmeer einst und jetzt. Von  
*Hjalmar Broch, Kristiania*. (Mit 1 Abbildung.)  
S. 804.

Der gegenwärtige Stand der geologischen  
Forschung. Von *S. v. Bubnoff, Breslau*. (Schluß.)  
(Mit 2 Abbildungen.) S. 806.

### Besprechungen:

Autenrieth, Ed., Technische Mechanik. Von  
*A. Pröhl, Hannover*. S. 810.

Fraenkel, W., Leitfaden der Metallurgie mit be-  
sonderer Berücksichtigung der physikalisch-  
chemischen Grundlagen. Von *G. Masing, Berlin*.  
S. 813.

Lerthes, P., Die drahtlose Telegraphie und  
Telephonie. Von *A. Meißner, Berlin*. S. 813.

Fuchs, L., Grundriß der Funkentelegraphie in  
gemeinverständlicher Darstellung. Von *A. Meiß-  
ner, Berlin*. S. 813.

Krais, Paul, Werkstoffe: Zweiter Band, G-R, und  
dritter Band, S-Z. Von *G. Masing, Berlin*. S. 813.

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. S. 814.

Die neue Gebietseinteilung der russischen Re-  
publik.

Die Deutsche Geologenversammlung in Breslau  
29. Juli bis 9. August 1922. S. 816.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten. S. 817-820.  
Seigerungserscheinungen bei Legierungen. (Mit  
2 Abbildungen.) Neue amtliche Kartenwerke.  
Die seismischen Verhältnisse des Europäischen  
Nordmeeres und seiner Umrandung.

Astronomische Mitteilungen. S. 820-822.

Die innere Bewegung bei den Spiralnebeln.  
Die innere Bewegung im Crab-Nebel. Kapteyns  
Versuch einer dynamischen Auffassung des  
Fixsternsystems. Über die Entfernung, bis zu  
der sich die Verteilung der Sterne im Raume  
mit einiger Sicherheit bestimmen läßt.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

## Handbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie

Ein Lehr- und Nachschlagebuch der drahtlosen Nachrichtenübermittlung

Von

Dr. **Eugen Nesper**

Mit 1321 Abbildungen im Text und auf Tafeln

(LII, 1254 S.) 1921

Zwei Bände in Ganzleinen gebunden Preis M. 390.—\*

\*Hierzu Teuerungszuschlag

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 250.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 25.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 18.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postscheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20120 Julius Springer.  
Konten: für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

## Die großen Handbücher



von Abderhalden, Abegg, Bredig, Dammer, Doelter, Gmelin-Krauth, Hertwig, Kolbe-Wassermann, Lueger, Lunge, Muspratt, Richter, Ruhner, Ullmann, Winkelman u. a. **zur Erleichterung der Anschaffung** gegen bequeme Monats- oder Quartalsraten von (258)

**Hermann Meusser, Buchhandlung**  
Berlin W 57/9, Potsdamer Strasse 75

## Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

**zu kaufen gesucht.** Angebote unter Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

## Die Wechselstromtechnik.

Herausgegeben von Dr.-Ing. E. Arnold†, Professor und

Direktor des Elektrotechnischen Instituts der Technischen Hochschule Fridericiana zu Karlsruhe.

**Erster Band: Theorie der Wechselströme.** Von J. L. la Cour, Technischer Chef der Allmänna Svenska El. A. B. Vesteårs, und O. S. Bragstad, ordentlicher Professor der Technischen Hochschule Trondhjem. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 591 in den Text gedruckten Figuren. (XIV, 922 S.) Unveränderter Neudruck. 1922. Gebunden Preis M. 720.—

**Zweiter Band: Die Transformatoren.** Ihre Theorie, Konstruktion, Berechnung und Arbeitsweise. Von E. Arnold und J. L. la Cour. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 443 in den Text gedruckten Figuren und 6 Tafeln. (XII, 450 S.) Unveränderter Neudruck. 1922. Gebunden Preis M. 360.—

**Dritter Band: Die Wicklungen der Wechselstrommaschinen.** Von E. Arnold. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 463 Textfiguren und 5 Tafeln. (XII, 372 S.) Unveränderter Neudruck. 1922. Gebunden Preis M. 300.—

**Vierter Band: Die synchronen Wechselstrommaschinen,** Generatoren, Motoren und Umformer. Ihre Theorie, Konstruktion, Berechnung und Arbeitsweise. Von E. Arnold und J. L. la Cour. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 530 Textfiguren und 18 Tafeln. (XX, 896 S.) Unveränderter Neudruck. 1922. Gebunden Preis M. 720.—

**Fünfter Band: Die asynchronen Wechselstrommaschinen.** 1. Teil: **Die Induktionsmaschinen.** Ihre Theorie, Berechnung, Konstruktion und Arbeitsweise. Von E. Arnold und J. L. la Cour, unter Mitarbeit von A. Fraenckel. Mit 307 in den Text gedruckten Figuren und 10 Tafeln. (XVI, 614 S.) Unveränderter Neudruck. 1922. Gebunden Preis M. 480.—

2. Teil: **Die Wechselstromkommutatormaschinen.** Ihre Theorie, Berechnung, Konstruktion und Arbeitsweise. Von E. Arnold, J. L. la Cour und A. Fraenckel. Mit 400 in den Text gedruckten Figuren und 8 Tafeln. (XVI, 660 S.) Unveränderter Neudruck. 1922. Gebunden Preis M. 480.—

Zu beziehen durch jede Buchhandlung



## Technische Festigkeit und molekulare Festigkeit.

Von Adolf Smekal, Wien.

Bekanntlich betrachtet die Elastizitäts- und Festigkeitslehre die festen Körper als ideale, isotrop-elastische Kontinua, deren *beliebig weit* gehender Belastung und Deformation prinzipiell nichts im Wege steht: die Existenz einer Elastizitäts- und Bruchgrenze — kritischer Zustände, welche für spröde Körper als hinreichend zusammenfallend gelten können — vermag diese Theorie somit nicht zu begründen. Um die Ergebnisse der Berechnung einer Spannungs- oder Deformationsverteilung für einen wirklichen Körper von gegebener Form und Belastung für technische Zwecke nutzbar zu machen, ist man bekanntlich vielmehr zur Einführung einer *Bruchhypothese* gezwungen, indem man eine von den nach der Elastizitätstheorie berechenbaren Größen als Maß für die vorhandene Bruchgefahr ansieht. Der beim Bruch überschrittene kritische Wert dieser Größe, z. B. der größten auftretenden Deformation oder der Differenz zwischen größter und kleinster Hauptspannung nach *Mohr*, muß für jedes einzelne Material gesondert *empirisch* bestimmt werden und wird dann im allgemeinen für Körper beliebiger Form und Belastung als unveränderlich angesehen. Jede dieser Bruchhypothesen hat ihre praktischen Vorzüge und Grenzen, eine einheitliche Lösung des Problems stand aber bisher aus und es war daher nicht möglich, Bruchspannungen auch nur in irgendeinem Falle bloß auf Grund schon anderweitig bekannter Materialkonstanten *vorauszuberechnen*.

Man kann sich nun die Frage vorlegen:

In welcher Hinsicht muß man die Annahme eines idealen elastischen (bis zur Bruchgrenze elastischen) Körpers ergänzen, um daraus die Existenz einer Elastizitäts- bzw. Bruchgrenze theoretisch erschließen zu können.

Es ist klar, daß es sich hier um eine ihrem Wesen nach in der molekularen Konstitution der Materie wurzelnde Größe handeln muß, da der Bruch- oder Zerreißvorgang ja die Trennung gewisser zwischenmolekularer Bindungen bedeutet. In der Tat kommt man bei näherer Überlegung darauf, daß die *Oberflächenspannung* jene gesuchte Größe sein muß, als jene Arbeit, welche erfahrungsgemäß notwendig ist, um die Oberfläche eines Körpers von gegebenem Volumen um die Flächeneinheit zu vergrößern; denn die Entstehung der Bruchflächen bedeutet ja nichts anderes als eine *Oberflächenvergrößerung* des ursprünglichen, nach dem Bruche aller-

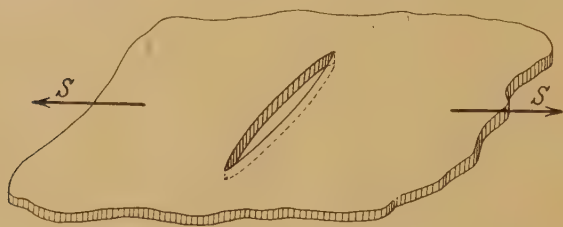
dings aus mehreren Stücken bestehenden Körpers. Erteilt man auf Grund dieser Erwägung dem idealen elastischen Körper nun noch die Eigenschaft, eine *Oberflächenspannung* von bestimmtem Betrage zu besitzen, so wird sich zeigen, daß man für ihn dann auch wirklich die Existenz einer Bruchgrenze nachweisen und bei gegebener Gestalt und Belastung Bruchspannungen vorausberechnen kann. — Die Idee, daß gerade die Oberflächenspannung jene entscheidende Größe sei, hat, soweit dem Verfasser bekannt, zum ersten Male *E. Lohr* (Techn. Hochschule Brünn) bereits vor dem Kriege gelegentlich geäußert, aber nicht durchgeführt, hinsichtlich der Flüssigkeiten kommt sie bereits bei *Boltzmann* vor. Ihre Bedeutung unabhängig erkannt und die Theorie zur Durchführung gebracht zu haben, ist aber das Verdienst des Engländers *A. A. Griffith* (1920) (1), für einen Sonderfall auch jenes von *M. Polanyi* (2) (Kaiser-Wilhelm-Institut für Faserstoffchemie, Berlin) (1921).

Befindet sich ein Körper in irgendeinem Spannungszustand unterhalb der Bruchgrenze, so ist sein Gleichgewichtszustand unter dem Einfluß der Belastungen *stabil*, und die potentielle Energie des ganzen Systems besitzt nach einem bekannten Grundgesetze der Mechanik einen Minimalwert gegenüber allen denkbaren Nachbarzuständen. Eine geringfügige Vergrößerung der Lasten bewirkt eine entsprechende Zunahme der Deformationen und Spannungen, und auch für den damit eingetretenen *neuen* Zustand muß die potentielle Energie einen Kleinstwert gegenüber allen denkbaren Nachbarzuständen besitzen. Nach der bisher üblichen Auffassung ist dieser Zustand stets wieder in einer weiteren Anspannung des *unversehrten* Körpers zu suchen; zieht man hingegen noch die Möglichkeit der Entstehung eines *Risses*, hervorgerufen durch die Mehrbelastung, in Betracht, so hat man zu untersuchen, ob eine geringfügige Oberflächenvergrößerung von bestimmter Gestalt, wie sie eben die Rißbildung zur Folge hat, unter den gegebenen äußeren Bedingungen nicht zu einem kleineren Werte der potentiellen Energie führt, als die weitere Anspannung des unversehrt bleibenden Körpers. Bei der Ausführung dieser Untersuchung hat man zu beachten, daß sich die von den Lasten während ihrer Vergrößerung geleistete Arbeit bei Gültigkeit des Hookeschen Gesetzes im Falle weiterer Anspannung zur Gänze als Zunahme seiner Spannungsenergie im Körper vorfindet; im Falle der Rißbildung kommt hiervon jedoch jener Energiebetrag in Abzug, welcher zur Schaffung der *Oberflächenenergie* des ent-

stehenden Risses benötigt wird. *Unterhalb* der Bruchgrenze reagiert der Körper auf Mehrbelastung mit weiterer Anspannung, die Rißbildung führt hier also nicht zum Minimalwerte der potentiellen Energie. *Oberhalb* der Bruchgrenze ist der Körper hingegen in unversehrtem Zustande nicht existenzfähig, die Rißbildung muß vorher bereits eingetreten sein. (Im Augenblick des Überschreitens der Bruchgrenze wird also das Belastungsgleichgewicht *labil*.) Weitere Anspannung und Rißbildung führen zum gleichen Werte der potentiellen Energie.

Das Problem der Bruchgrenze ist hiermit quantitativ faßbar geworden und zurückgeführt auf die Konkurrenz zweier verschiedener Arten von möglichen Veränderungen des beanspruchten Körpers, auf die Konkurrenz von weiterer Anspannung und Rißbildung.

*Griffith* hat diese hier etwas eingehender auseinander gesetzten Überlegungen auf eine ebene homogene, isotrope unendlich ausgedehnte Platte von gleichmäßiger Dicke angewendet, welche einen geraden Riß (bzw. ein schmales elliptisches Loch) enthält, der sie senkrecht zur Plattenebene durchsetzt. Die Platte sei so dünn, daß man den Spannungszustand als „eben“ ansehen kann, und in Punkten, welche genügend weit vom Spalte entfernt sind, sollen die beiden Hauptspannungen senkrecht und parallel zur Längserstreckung des Risses gerichtet und überall die gleichen sein; damit ein Zerreißen eintreten kann, muß die Platte senkrecht zur Rißrichtung auf Zug beansprucht werden. Die unter solchen Umständen sich einstellende Spannungsverteilung um einen als beliebig langgestrecktes elliptisches Loch zu



behandelnden Riß haben unabhängig *Inglis* (3) und *Karl Wolf* (4) (Techn. Hochschule Wien) ermittelt, sie dient zur Berechnung der Spannungsenergie. Die Einzelheiten dieser Rechnung bei *Griffith* erweisen sich zwar als nicht ganz einwandfrei, doch hatte Prof. *Wolf* die Güte, die Berichtigung auszuführen und dem Verfasser zur Verfügung zu stellen; indessen zeigt sich, daß zur qualitativen Prüfung der Theorie eine Rechnung in diesem Falle überhaupt entbehrlich wird und bereits durch das Ergebnis einer Dimensional Betrachtung ermöglicht wird. Bezeichnet nämlich  $l$  die Länge des Risses und  $S$  die positive Hauptspannung (die Zugspannung) senkrecht zur Rißrichtung, so ist leicht einzusehen, daß die Spannungsenergie  $E$  pro Einheitsdicke proportional dem Quadrat von  $l$  und  $S$  sein muß, wobei der Proportionalitätsfaktor  $k$  nur von

der Poissonschen Konstante (dem Verhältnis von Querverkürzung zur Längsdehnung des betr. Materials), dem Youngschen Modul (dem Betrage der Zugspannung dividiert durch den Betrag der von ihr an dem Material bewirkten Dehnung) sowie Zahlenfaktoren abhängig sein kann. Bezeichnet ferner  $\sigma$  die Oberflächenspannung des Materials, so ist die Oberflächenenergie des Spaltes pro Einheitsdicke einfach gleich  $2l\sigma$ . Im Augenblick des Überschreitens der Bruchgrenze müssen nach dem Vorangehenden die Änderungen dieser beiden Energiegrößen für eine geringfügige Verlängerung des Spaltes um  $\Delta l$  einander gleich sein, d. h. es muß möglich sein, den Spalt ohne äußeren Arbeitsaufwand zu vergrößern:

$$\Delta E = 2k S^{*2} l \cdot \Delta l = 2\sigma \cdot \Delta l$$

oder es muß  $S^* \sqrt{l} = C$  sein, wenn  $S^*$  die Bruchspannung und  $C$  eine Konstante bedeutet.

Für eine vorgegebene Spallänge ist somit die Bruchspannung auf Grund der Oberflächenspannung, der Poissonschen Konstante und des Youngschen Moduls *im vorhinein* berechenbar.

*Griffith* hat diese Überlegungen an dünnwandigen geritzten, zylindrischen und kugelförmigen Glasgefäßen experimentell geprüft, welche durch Flüssigkeitsdruck von innen gesprengt wurden. Die Daten der verwendeten Glassorte waren die folgenden: Spez. Gewicht: 2,40, Youngscher Modul  $6,33 \cdot 10^5$  kg/qcm, Poissonsche Konstante 0,251,  $\sigma = 5,5 \cdot 10^{-4}$  kg/cm, Zugfestigkeit 1740 kg/qcm (bestimmt an Glasfäden von 1 mm Durchmesser). Die optisch feststellbaren Längen der eingeritzten schmalen Spalte bewegten sich zwischen 0,38 und 2,26 cm, doch sind das zweifellos nur *untere* Grenzen für die wahren Längen der Spalte, welche sich als feine Risse submikroskopischer Breite in das Material fortgesetzt haben mögen. Die optisch bestimmte Breite der Spalte an ihren sichtbaren Enden mit etwa  $10^{-5}$  cm stellt hingegen eine *obere* Grenze dar; selbst auf hundertmal geringere Distanz würden sich einander gegenüber befindliche Moleküle nur unmerklich beeinflussen. Die *Versuche* ergaben für  $C^*$  ohne jeden systematischen Gang mit guter Konstanz  $26,8 \text{ kg/cm}^{3/2}$  (größte Abweichung vom Mittel 11 %), die von *K. Wolf* korrigierte Theorie liefert  $25,2 \text{ kg/cm}^{3/2}$ . In Anbetracht der Unsicherheit in der Bestimmung der Spallängen und der möglicherweise unmittelbar vor dem Erreichen der Bruchgrenze auftretenden Abweichungen vom Hookeschen Gesetze muß die erzielte Übereinstimmung wohl als ausgezeichnet angesehen werden, so daß man hoffen darf, ähnliche Methoden bald direkt zur Bestimmung der Oberflächenspannung spröder Körper anwenden zu können.

Die bei den Versuchen aufgetretenen Bruchspannungen lagen zwischen 60,7 und 25,7 kg/qcm, sind also naturgemäß ganz wesentlich gegenüber der normalen Zugfestigkeit des verwendeten Glases von 1740 kg/qcm herabgesetzt. Wird die



letztere Größe in die gefundene Beziehung  $S^* \sqrt{l} = C$  für  $S^*$  eingesetzt, so sollte man erwarten, auf eine Längendimension von annähernd molekularer Größenordnung ( $10^{-8}$  cm) zu stoßen, in dessen ergibt sich eine Spalllänge von  $2 \cdot 10^{-4}$  cm. Innerhalb derartiger Dimensionen werden die Aussagen der Elastizitätstheorie durch die molekulare Konstitution der Materie aber zweifellos noch nicht um Größenordnungen verändert. Für  $l = 10^{-8}$  cm beispielsweise erhält man hingegen  $2,5 \cdot 10^5$  kg/qcm. Die normale, im Wege des gewöhnlichen Zugversuches bestimmte „technische Festigkeit“ kann also nicht identisch sein mit der Festigkeit der zwischenmolekularen Bindungen, der „molekularen Festigkeit“. Man kann sich hiervon vor allem auch auf dem folgenden, nicht weniger naheliegenden Wege überzeugen, wenn man bedenkt, daß die Bruchspannung  $S^*$ , durch die man die „technische Festigkeit“ kennzeichnet, als sozusagen von außen angelegte und darum direkt meßbare Spannung ja nur für genügend weit vom Spalte entfernte Stellen eine Bedeutung hat, also gar nicht mit jenen vorkommenden Maximalspannungen zusammenfällt, welche schließlich die „molekulare Festigkeit“ überwinden und das Reißen, d. h. die Erweiterung des Spaltes an seinen Enden herbeiführen. Diese Maximalspannungen  $M^*$  treten eben gerade an den Spaltenden auf und sie erst können daher in gewissem Sinne als Maß für die „molekulare Festigkeit“ dienen. Für den bei den Griffithschen Versuchen optisch bestimmten kleinsten Krümmungsradius an den Spaltenden von ca.  $5 \cdot 10^{-6}$  cm ergibt die Elastizitätstheorie  $M^* = 2,43 \cdot 10^4$  kg/qcm und dies ist nach den früher gemachten Bemerkungen wieder nur eine untere Grenze; für einen noch zulässigen, hundertmal kleineren Krümmungsradius erhält man  $M^* = 2,4 \cdot 10^5$  kg/qcm und damit jedenfalls die Größenordnung der „molekularen Festigkeit“. Die „molekulare Festigkeit“ ist also rund 100 mal größer als die „technische Festigkeit“. Als Bestätigung hierfür sieht Griffith auch die Größenordnung des aus thermischen Daten für verschiedene feste Metalle berechenbaren Innendruckes an, der ebenfalls 20 bis 100 mal größer ist als die nach den gewöhnlichen Methoden bestimmte Festigkeit.

Es ist klar, daß diesen Tatsachen gegenüber sämtliche bisherigen Bruchhypothesen versagen. Als Ausweg aus dieser und einer Anzahl ähnlicher Schwierigkeiten bleibt nur die Annahme übrig, daß das gewöhnliche technische Material bei weitem nicht so homogen ist, wie wir es immer voraussetzen, daß es vielmehr viele feine, mikroskopische und submikroskopische Löcher, Risse und andere Inhomogenitäten besitzt, welche in der am obigen Beispiele ersichtlichen Weise die „technische Festigkeit“ gegenüber der „molekularen“ herabsetzen. Die „technische Festigkeit“ wird also auf Grund einer „makroskopischen“ Spannungsverteilung ermittelt, hinter welcher sich eine ganz andersartige „mikroskopische“

Spannungsverteilung verbirgt, welche sich den vorhandenen Inhomogenitäten des Materials anpaßt. Aus der gewöhnlichen Zugfestigkeit des Glases haben wir oben auf das normale Vorhandensein solcher Inhomogenitäten von etwa  $10^{-4}$  cm Längsausdehnung und darunter geschlossen; dies entspricht gerade etwa der Korngröße und den zwischen den Körnern vorhandenen Rissen eines sehr feinkristallinen Metallstückes. Die alte Erfahrung, daß grobkristallines Material eine geringere (technische) Festigkeit besitzt als feinkristallines, findet damit eine ganz zwanglose Erklärung.

Wenn diese Auffassung zutreffend ist, muß sich die Festigkeit jedes Materials dadurch ganz bedeutend steigern lassen, daß man das Auftreten von Rissen und anderen Inhomogenitäten durch Wahl entsprechend geringer Dimensionen und sehr sorgfältiger thermischer Behandlung des Probekörpers auf ein Minimum zu reduzieren trachtet. In der Tat ist es ja z. B. schon lange bekannt, daß sehr dünne Drähte eine wesentlich größere Festigkeit besitzen als dickere; im idealen Grenzfall der eindimensionalen Molekülreihe würde die Zugfestigkeit sogar von der gleichen Größenordnung wie die „molekulare Festigkeit“ werden müssen. Dies experimentell weitgehend zu realisieren ist Griffith an Fäden von geschmolzenem Glas der früher benutzten Sorte sowie von geschmolzenem Quarz gelungen. Glasfäden von 0,1 mm bis 0,003 mm zeigten, einige Zeit nach ihrer Herstellung geprüft, Festigkeiten von  $3 \cdot 10^3$  bis  $3,5 \cdot 10^4$  kg/qcm, woraus sich für den Grenzfall molekularer Durchmesser rund  $1,2 \cdot 10^5$  kg/qcm, in voller Übereinstimmung mit der oben gefundenen Größenordnung, extrapolieren läßt. Wenige Sekunden nach ihrer Herstellung geprüft, ergeben Drähte beliebiger Durchmesser hingegen viel höhere Festigkeiten als nach dem „Altern“, nämlich bis zu  $6 \cdot 10^4$  kg/qcm, also beinahe die Größenordnung der „molekularen Festigkeit“ selbst. Da nun das „Altern“ offenbar auf einen Kristallisationsvorgang, die Bildung größerer Kristallindividuen, zurückzuführen ist, entspricht dieses Verhalten vollständig der hier dargelegten Theorie.

Aus dem Bisherigen ist zu entnehmen, daß die „technische Festigkeit“ im allgemeinen keine für ein beliebiges Material charakteristische physikalische Konstante darstellt, wovon ihre praktische Bedeutung im wesentlichen natürlich nicht weiter berührt wird. Der Physiker braucht eine möglichst fehlerfreie, in jeder Hinsicht reproduzierbare Modifikation des Materials für seine Zwecke und das ist der Einzelkristall; tatsächlich zeigt sich ja nicht nur die Festigkeit, sondern, wie kürzlich G. v. Hevesy (5) gefunden hat, auch die elektrolytische sowie die Wärmeleitfähigkeit im kristallinen Zustande ganz wesentlich verschieden von jener im Einzelkristalle. Man muß die Festigkeitsbetrachtungen also auch auf den idea-

len fehlerfreien Einzelkristall ausdehnen und die Frage nach dem Verhalten der „technischen“ zur „molekularen Festigkeit“ hier von neuem aufwerfen. Dieser Frage ist die früher erwähnte Untersuchung von *Polanyi* (2) gewidmet, doch muß gleich von vornherein betont werden, daß man hier keineswegs mit jener Strenge vorgehen kann wie vordem, sondern sich mit einem gewissermaßen qualitativen Ergebnisse zufriedenstellen muß.

Ein prismatischer Einzelkristall von der Länge  $l$  und dem Querschnitt  $q$  werde senkrecht zu dem letzteren einer homogenen Zugbeanspruchung unterworfen, welche pro Volumeneinheit des beanspruchten Kristalls eine Spannungsenergie  $E$  in ihm hervorruft; die Dimensionen von  $q$  werden als groß gegenüber  $l$  vorausgesetzt. Einer bestimmten, für gewöhnlich als unveränderliches Maß seiner Zugfestigkeit angesehenen Zerreißspannung  $S^*$  entspricht dann eine bestimmte kritische Spannungsenergie  $E^*$ , bei der der gedehnte Kristall längs einer zu  $q$  parallelen Ebene durchreißen soll, wie das z. B. beim Steinsalzkristalle geschieht, wenn er senkrecht zur Würfel­fläche beansprucht wird. Die beiden beim Reißen entstehenden Bruchflächen haben die Oberflächenzunahme  $2q$  zur Folge, und deren Oberflächenenergie  $2q\sigma$  muß folglich im Augenblick des Zerreißens zur Verfügung stehen, damit dieses aus energetischen Gründen überhaupt eintreten kann. Darf man nun annehmen, daß die Zerreißvorrichtung im Augenblick des Reißen keine merkliche Energie zuliefert, was gerechtfertigt ist, wenn die elastischen Eigenschaften des Materials, aus dem sie besteht, wesentlich von denen des zu prüfenden Kristalles verschieden sind, so muß die vorhandene Spannungsenergie  $E^*ql$  außer der beim Reißen auftretenden Wärme-, Schall- und kinetischen Energie der Bruchstücke noch für die Oberflächenenergie der Bruchflächen aufkommen. Der Energiesatz verlangt also, daß:

$$E^*ql > 2q\sigma$$

oder:

$$l > 2\sigma/E^*.$$

Da  $\sigma$  erst im Bereiche molekularer Dimensionen veränderlich wird, muß man annehmen, daß die kritische Zerreißenergie  $E^*$  von der Länge  $l$  des Kristalles abhängt, wenn man der absurden und der Erfahrung widersprechenden Folgerung entgegen will, daß Kristalle von kleinerer als einer bestimmten kritischen Länge senkrecht zu dieser Dimension nicht mehr zerrissen werden können. Der Fall liegt also ganz analog wie im vorangehenden Beispiele, wo zum Aufreißen verschieden langer Risse verschieden große Energiebeträge (bzw. verschieden große Spannungen) erforderlich waren. Nun ist  $E^*$  dem Quadrat von  $S^*$  proportional. Die „technische Festigkeit“ eines idealen fehlerfreien Kristalles ist also mit seinen Dimensionen veränderlich; sie kann also auch nicht mit der „molekularen Festigkeit“ übereinstimmen, sie nimmt

vielmehr mit abnehmender Länge des Kristalls zu und nähert sich so der „molekularen Festigkeit“, in welche sie im Grenzfalle übergehen wird. Die kritische Schranke  $2\sigma/E^*$  beträgt für Steinsalz etwa 6 mm, experimentell ist der erwartete Anstieg der Zug- und Biegezugfestigkeit für Längen unter 1 mm gefunden worden. *Polanyi* hat damit einen zweiten, mit dem ersten übrigens verwandten und davon nicht gänzlich unabhängigen Grund für die Tatsache gefunden, daß feinkristallinische Körper fester sind als grobkristallinische; in der Tat ist der einzelne große Steinsalzkristall trotz seiner weitgehenden Fehlerlosigkeit weicher als ein aus seinem Pulver gepreßter Körper. Der „technisch“ festeste Körper ist also mit dem fehlerlosen keineswegs identisch, er ist vielmehr im sozusagen ideal ungeordneten, im idealen amorphen Körper zu suchen, welcher möglichste Kleinheit der Kristallkörner mit möglichster Kleinheit der Fugen und Löcher zwischen ihnen vereinigen soll<sup>1)</sup>.

Die „molekulare Festigkeit“ wird dadurch für makroskopische Körper natürlich prinzipiell unerreichbar. Eine ähnliche Steigerung der Festigkeit dünner Materieschichten gegenüber dickeren, wie sie hier einstweilen speziell für Einzelkristalle gefolgert worden ist, um den Einfluß von Löchern und Rissen auszuschalten, läßt sich auf analoge Weise auch für kristallinische Körper voraussagen und tritt uns offenbar viel häufiger entgegen, als man es erwarten würde; man braucht hier nur an verschiedene Arten von Kittvorgängen, das Schweißen von Stahl mit Kupfer usw. zu erinnern.

Der Anlaß für das schließliche Reißen eines beanspruchten Kristalls an einer bestimmten Stelle ist, abgesehen von Ungleichmäßigkeiten in der Belastung, jedenfalls auch so wie beim sonstigen Material in dem Vorhandensein minimaler oberflächlicher oder innerer Verletzungen zu erblicken. Während der amorphe bzw. kristallinische Körper bis zur Elastizitäts- oder Bruchgrenze die relative Lage seiner Teilchen nur den elastischen Deformationen entsprechend verändert, zeigen weitgehend fehlerfreie Einzelkristalle unter bestimmten Bedingungen hingegen fast gar keinen Bereich elastischer Veränderungen, sondern Gleitvorgänge, welche von einer dauernden „Verfestigung“ begleitet sind. So haben die von *Polanyi* und seinen Mitarbeitern (6) untersuchten Metall-Einkristalldrähte von kreisförmigem Quer-

<sup>1)</sup> Die Tatsache, daß mikrokristallines Material meist durch die Kristallkörner reißt und nicht zwischen ihnen, zeigt, daß zumindest von einer gewissen Kleinheit der Kristallkörner ab die Fugen einen geringeren erniedrigenden Einfluß auf die Festigkeit besitzen als die Korngröße. — Schließlich sei noch hervorgehoben, daß die Polanyischen Überlegungen naturgemäß ganz unverändert auch dann gelten, wenn der beanspruchte Kristall gleichzeitig noch unter allseitig gleichem Drucke steht, wie dies bei einigen Experimenten von *Voigt* an Steinsalz der Fall gewesen ist. Diese Bemerkung verdankt der Verfasser Herrn *M. Polanyi*.



schnitte in ihrer „dehnbaren“ Modifikation die Eigenschaft, sich zu flachen Bändern und bei weiterer Dehnung erneut zu Drähten von nun aber viel geringerem kreisförmigen Querschnitte ausziehen zu lassen, bevor sie reißen. Man hat darin, solange das Kristallgitter ungestört gleitet, wohl die Tendenz zu erblicken, das Zerreißen mit einem möglichst geringen Energieaufwand zu bewerkstelligen, was durch weitgehende Verringerung der Querschnittsdimensionen infolge der Gleitung erreicht wird; die Verfestigung ist dann eine nach dem Obigen nicht mehr völlig unverständliche, vielmehr notwendige Begleiterscheinung dieses Vorganges. Es bleibt abzuwarten, ob eine genauere Untersuchung der Dehnungseigenschaften von Einkristalldrähten zeigen wird, daß dieser Gesichtspunkt allein als Erklärungsgrundlage für ihr ungewöhnliches Verhalten ausreicht. Die Aufklärung der Verfestigung von Einzelkristallen durch mechanische Bearbeitung, die ebenfalls von *Polanyi* und seinen Mitarbeitern (7) festgestellt worden ist, erfordert hingegen, falls sich die Erscheinung nicht gänzlich auf die Beseitigung von mikroskopischen Inhomogenitäten zurückführen läßt, eine eingehende Betrachtung der im Gitter vor sich gehenden Prozesse, welche die Grobanordnung der Gitterbausteine und damit das Röntgenbild des Kristalls aber jedenfalls nur unmerklich zu verändern brauchen; so mag sich eine derartige eingehendere Betrachtung daher auch für die Verfestigung durch Gleitung als erforderlich herausstellen.

Während wir oben bezüglich der Abhängigkeit des Energiebedarfes für das Zerreißen von den Dimensionen des beanspruchten Körpers den *Polanyischen* Kristall mit der *Griffithschen* gelochten Platte in Analogie setzen konnten, besteht zwischen beiden Fällen aber doch ein ganz wesentlicher Unterschied, der hier zum Schluß noch ausdrücklich hervorgehoben sei, da er auf eine neue, vielleicht fundamentale, einstweilen noch nicht beantwortete Fragestellung zu führen scheint. Gibt man irgendeine, unter Umständen auch beliebig kleine Spannung  $S$  vor, so läßt sich im *Griffithschen* Falle stets eine Spaltlänge angeben, für welche  $S$  zur Zerreißspannung  $S^*$  wird; hingegen gibt es für eine hinreichend kleine Spannung keinen genügend langen Kristall, welchen sie zum Reißen brächte. Die *Erfahrung* zeigt vielmehr, daß für genügend große, fehlerfreie Kristalle und ebenso für die kristallinen Körper die Zerreißspannung einen ganz bestimmten, von den Dimensionen unabhängigen Wert besitzt; dieser Umstand ermöglicht es ja gerade, die „technische Festigkeit“ für praktische Zwecke als von Form und Belastung weitgehend unabhängige Materialkonstante anzusehen. Spannt man einen „großen“ Körper bis zum Zerreißen an, so beträgt seine Spannungsenergie also ein unter Umständen sehr hohes Vielfaches jenes Energiebetrages, der sich nachher in der Oberflächenenergie der Bruchflächen wiederfindet, gleichwohl ist der Ge-

samtbetrag für den Zerreißvorgang unerläßlich. Daß die Betrachtungen von *Polanyi* über diesen Punkt weiter keine Aussagen zu machen gestatten, kann nicht verwunderlich erscheinen: es wird von vornherein ja nur eine Energiebilanz ins Auge gefaßt, die zu einer bestimmten Ungleichung führt, welche sich erfüllt zeigen muß, das physikalische Geschehen jedoch nicht eindeutig festlegt; die allgemeine *Griffithsche* Theorie, welche mit Energieänderungen operiert, vermag diesen Sachverhalt qualitativ hingegen völlig aufzuklären. Welcher Teil der Formänderungsarbeit des „großen“ Körpers verwandelt sich nun beim Zerreißvorgang in Oberflächenenergie? Ist er etwa im Körper irgendwie merklich lokalisiert? Sollte man aus der Unabhängigkeit der „technischen Festigkeit“ „großer“ Körper von ihren Dimensionen den Schluß ziehen können, daß die Spannungsenergie eines jeweils ganz bestimmten, die Bruchstelle umfassenden Körpervolumens, unabhängig von den Längsdimensionen, allein für die Lieferung der Oberflächenenergie der Bruchflächen zu sorgen hat? Oder ist hier der Ausweg über die Annahme verborgener, mikroskopischer oder submikroskopischer Inhomogenitäten allein gangbar? Eine Entscheidung dieser Fragen scheint einstweilen noch nicht möglich zu sein. Zur näheren Beurteilung der ersteren Möglichkeit sei nur noch hervorgehoben, daß sie eine Wechselwirkung der Körpermoleküle auf wesentlich größere Distanzen erfordern würde, als den üblichen Anschauungen von der Reichweite der Molekularkräfte entspricht. So befremdlich eine derartige Wechselwirkung dem ersten Anschein nach wäre — eine quantentheoretische Behandlung der zwischenmolekularen Kraftwirkungen (8) läßt sie als durchaus möglich erscheinen, doch kann noch nichts darüber ausgesagt werden, ob diese quantentheoretischen Folgerungen größenordnungsmäßig zur Erklärung der in Rede stehenden Erscheinung auch nur annähernd ausreichen würden oder nicht.

#### Literatur.

1. A. A. Griffith, The Phenomena of Rupture and Flow in Solids. Phil. Trans. Roy. Soc. London, A, 221, 163—198, 1920.
2. M. Polanyi, Über die Natur des Zerreißvorganges, ZS. f. Phys. 7, 323—327, 1921. (Den in dieser Arbeit angestellten Betrachtungen über die Kristallgittertheorie vermögen wir uns nicht anzuschließen, doch kann an dieser Stelle hierauf nicht näher eingegangen werden.)
3. C. E. Inglis, Stresses in a Plate due to the Presence of Cracks and Sharp Corners, Proc. Inst. Naval Architects, 14. März 1913.
4. Karl Wolf, Beiträge zur ebenen Elastizitätstheorie I., ZS. f. techn. Phys. 2, 209—216, 1921; II. ebenda, 3, 160—166, 1922.
5. G. v. Hevesy, Über Materietransport in Kristall und Kristallit, ZS. f. Phys. 10, 80—83, 1922; Über den Zusammenhang zwischen Elektrizitätsleitung und Wärmeleitung in elektrolytisch leitenden Kristallen, ZS. f. Phys. 10, 84—88, 1922.
6. M. Polanyi, Röntgenographische Bestimmung von Kristallanordnungen, Naturwissenschaften 10, 410—416, 1922.

- E. v. Gomperz, Untersuchungen an Einkristall-  
drähten, ZS. f. Phys., 8, 184—190, 1920.  
Vergl. ferner auch:  
H. C. H. Carpenter and E. F. Elam, The Production  
of Single Crystals of Aluminium and their Ten-  
sile Properties. Proc. Roy. Soc. A, 100, 329—353,  
1921.  
7. M. Polanyi, Verfestigung von Einzelkristallen durch  
mechanische Bearbeitung, ZS. f. Elektrochemie,  
28, 16—20, 1922.  
8. A. Smekal, Versuch einer allgemeinen einheitlichen  
Anwendung der Quantentheorie und einer Quan-  
tentheorie der Dispersion. (Vorläufige Mittei-  
lung), Wien. Anz. 1922, 79—81, Nr. 10.

## Riffkorallen im Nordmeer einst und jetzt.

Von Hjalmar Broch, Kristiania.

Wenn von Korallen und besonders von Riff-  
korallen die Rede ist, wem käme da nicht zwangs-  
läufig die Vorstellung von tropischer Sonnenglut  
über tropischen blauen Meeren an schwer zugäng-  
lichen tropischen Küsten, und vernähme nur mit  
äußerstem Mißtrauen die Meldung, daß auch in  
nördlichen, gemäßigten Meeren Steinkorallen zu-  
haus seien und auch dort, und gar nicht so selten,  
zu „Riffen“ zusammenträten. Es leben und ge-  
deihen aber in der Tat *Madreporarien* „hoch oben“  
an der norwegischen Küste, auch *heutigen Tages*  
*noch*, und *dicht zu Bänken gedrängt*, daß man  
versucht wäre, von „Riffen“ zu reden, wenn das  
Wort nicht besser für die Bauten lebender Kor-  
allen verwendet würde, die dem *Schiffsverkehr*  
*hinderlich sind*, und Siedelungen, die erst in  
200 m Tiefe auftreten, eben besser als *Korallen-*  
*bänke* bezeichnet würden.

Derartige rezente Korallenbänke finden sich  
in den europäischen Gewässern nach neueren  
Feststellungen vor allem an der norwegischen  
Westküste; wie weit sie nach Süden und gegen  
Osten, der „norwegischen Tiefenrinne“ folgend,  
bis in das Skagerrak vordringen, bedarf noch  
näherer Untersuchung. Die nördlichsten Ko-  
rallenbänke liegen bei den Lofoten, wo sie bei  
Bjarköy im Andfjord von Dr. C. Dons nachge-  
wiesen worden sind. Am üppigsten entfaltet  
scheinen sie im Trondhjemsfjord zu sein, wo sie  
denn auch am eingehendsten untersucht worden  
sind. Bereits von einem Zeitgenossen Linnés,  
dem norwegischen Bischof und Naturforscher  
Johan Ernst Gunnerus, liegen sorgfältige Studien  
über die Steinkorallen von Trondhjem vor<sup>1)</sup>, und  
in den letztvergangenen Jahren hat der verdiente  
Leiter der biologischen Meeresstation von Trond-  
hjem, Dr. O. Nordgaard, vieles zur Aufklärung  
der interessanten Biocönose beigetragen.

Die Hauptkomponente der nördischen Ko-  
rallenbänke stellt die prachtvolle *Madreporarie*  
*Lophohelia prolifera* Pallas (Fig. 1) dar. In  
tieferem Wasser gesellt sich dazu die stets gra-

ziler gebaute *Amphelia ramea* Pallas. *Lophohelia*  
ist im Leben gewöhnlich elfenbeinweiß, zuweilen  
auch hell orange gefärbt; *Amphelia* erscheint zu-  
meist in rötlichem Orangeton. Beide Arten  
bilden wahre Gewirre von Zweigen, die dadurch  
noch dichter werden, daß die Ästchen und Stämme  
gern anastomosieren (teilweise verschmelzen). Bei  
*Lophohelia* beobachtet man, daß einzeln stehende  
(solitäre) Kolonien auf ebenen Unterlagen wie  
regelmäßige, fast halbkugelige Kissen geformt  
sind, in dichten Beständen auftretende Stöcke  
aber „regellos“ verzweigt auftreten; von *Amphelia*  
scheint es nur sperrige Wuchsformen zu geben.  
In diesen dichten Bänken, die sich, wie gesagt,  
von Riffen nur dadurch unterscheiden, daß sie



Fig. 1. Zweig einer Kolonie von *Lophohelia prolifera*  
schwach verkleinert (nach Gunnerus 1768).

tief unter der Oberfläche des Meeres auftreten,  
haust eine mannigfach gemischte Tiergemein-  
schaft, wiederum ganz in der Art wie in den  
Korallenbiocönosen der tropischen Meere. Es  
treten da, ganz wie in den Tropen, als gesteins-  
bildende Organismen die *Stylasteriden* hinzu,  
Hydrokorallen oder besser Hydrozoen mit starrem  
Kalkskelett statt biegsamem Hornskelett, die sich  
in fächerförmigen, prachtvoll schneeweiß oder  
hellrosenrot getönten Stöcken in die Bänke ein-  
mischen, und in den Formen *Stylaster gemma-*  
*seens Esper* und *Stylaster (Allopora) norvegica*  
(Gunnerus), zu zierlichen, feingebauten Arten  
auftreten, die erst der klassenbildende Scharfsinn  
des norwegischen Forschers G. O. Sars in den  
sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts als  
Hydroiden erkannt hatte. Die Stylasteriden sind  
bei weitem nicht so widerstandsfähig wie die  
Korallenstöcke; während die Korallenskelette aus

<sup>1)</sup> Besonders: Om nogle norske Coraller. Det Kgl.  
norske Videnskabers Selskabs Skrifter, Fjerde Deel,  
Kjöbenhavn 1768.



ziemlich kompakten Kalkschichten aufgebaut sind, sind die Hartteile der Stylasteriden von feinen Kanälchen kreuz und quer durchzogen, die viel Weichgewebe enthalten und die Stöcke daher ziemlich zerbrechlich machen.

Eine weitere bedeutende Rolle in der Ausgestaltung der Bänke bilden auch hier, wie in den Tropen, die *Oktocorallen*. Prachtvolle, bis zu 2 m hohe *Paragorgia arborea* (Linné) überwuchern die Bänke und überschütten sie mit leuchtenden gelblichweißen Polypen auf dunkel ziegelrotem Grunde oder mit blutroten Polypen auf rötlichweißen Zweigen wie mit einem sommerlichen Blumenflor; rosagefärbte bis zu zwei Fuß hohe Sträucher von *Primnoa resedaeformis* Gunnerus und kopfgroße *Anthothela grandiflora* M. Sars und orangegelbe stattliche Fächer von *Paramuricea placomus* (Linné) fördert jeder gelungene Schleppnetzzug neben den Steinkorallen zutage. Dann und wann stoßen wir auch auf kleinere, schwefelgelbe, rosagefärbte, blutrote oder dunkelviolette Oktocorallen von besonderer Zartheit, so daß wir uns nicht wundern dürfen, daß derlei nur an rezenten Riffen beobachtet worden ist, an fossilen Riffen aber noch stets vermißt wurde; sie zerfallen sehr leicht und hinterlassen daher kaum eine Spur.

Wie uns jeder Dredschzug beweist, haust in diesen bunten Korallenwäldern eine nicht minder bunte Gesellschaft frei beweglicher Tierformen. Stets stoßen wir auf einige kleine Cottiden, quappenähnliche Grundfische, und stets lebt dort der Rotbarsch, *Sebastes marinus* Linné, der denn auch auf diesen nahrhaften Gründen regelmäßig und massenhaft geangelt wird. Gewisse Garnelenarten wie *Spirontocaris polaris* Sabine sind anscheinend hier zuhause, und über die Zweige der Madreporarien und zarteren Oktocorallen turnen abenteuerliche decapode Krebschen wie *Galathodes tridentatus* Linné und bizarr geformte isopode Krebstierchen wie *Arcturus*; an den nackten Stämmen und Zweigen aber der Hydroidenkolonien wie der Oktocorallen haften meistens schneeweiße Ciripeden, wie *Scalpellum strömii* M. Sars. Durch das Gewirr der Zweige und Äste drängt sich und zwängt sich ein Heer stets hungriger *Schlangensterne*, Ophiuriden, und in verlassenen pergamentenen Röhren des Wurmes *Chaetopterus* wohnt sehr oft der bis zu einem Fuß lange größte Borstenwurm der Siedlung *Leodice Gunneri* Storm, ein in allen Farben des Regenbogens schillerndes Tier. Zwischen den Ästen der Lophohelien leben polynoide Würmer, unter ihnen häufig die schneeweiße *Harmathoe oculinarum* Storm und seltener die violette *Harmathoe violacea* Storm; auch Schnurwürmer, Nemertinen, sucht man hier nie vergebens. Eigentümlich ist das häufige Vorkommen gewisser Hydroiden, unter denen sich im Trondhjemfjord merkwürdigerweise arktische Arten wie das fächerförmige *Stegopoma plicatile* (M. Sars) und die prachtvolle, blumenähnliche *Tubu-*

*laria regalis* Boek unmittelbar neben südlichen Formen wie *Tubularia indivisa* Linné und die schön gefiederte *Sertularella Gayi* Lamouroux stellen.

Keines dieser Tiere hat indessen ein Skelett, das den zerstörenden Kräften des Meeres auf die Dauer standzuhalten vermöchte. Um so auffälliger ist es, daß Erdschichten, die vorzeitliche *Lophoheliareste* enthalten, oft auch Schalen von Mollusken und molluskenähnlichen Tieren einschließen und damit die Biocönose besonders charakterisieren; wir nennen hier nur die Pilgermuscheln *Pecten vitreus* Chemnitz und *Lima excavata* Fabricius, sowie die Brachiopoden *Waldheimia cranium* Müller und *Terebratulina caput-serpentis* Linné. Doch handelt es sich im letzten Falle nicht um eigentliche Charaktertiere der vorliegenden Biocönosen, da diese muschelähnlichen Geschöpfe auch an ganz anderen Stellen und in Gesellschaft gänzlich anderer Tiere leben.

Wie bereits eingangs angedeutet, ist es nicht gerade sehr merkwürdig, daß um diese Tiergenossenschaften bis jetzt kaum mehr als einige Spezialisten wissen, und daß diese der Angelegenheit bisher auch kaum eine Wendung ins Allgemeine gegeben haben. Denn erstlich finden sich diese Korallenbänke im Nordmeere nur an tieferen Stellen und zweitens überziehen sie immerhin nur gewisse engumgrenzte Bezirke und stellen nicht weithin ausgedehnte Formationen dar. Zudem sind sie geophysikalisch zunächst auch nur im Trondhjemfjord näher untersucht worden. Von dort wissen wir erst durch Dr. O. Nordgaard, daß lebende Lophohelien fast nie oberhalb der 200-m-Linie auftreten und daß sie sich von da ab bis zu 600 m Tiefe erstrecken, d. h. bis zur unteren Grenze der wärmeren atlantischen Wassermassen. Mit anderen Worten: die heute im Trondhjemfjord lebenden Lophohelien verlangen ein Wasser, dessen Temperatur während des ganzen Jahres nicht unter 6,6° C hinabsinkt und dessen Salzgehalt wenigstens 34,7‰ oder mehr beträgt (nur ganz ausnahmsweise sinkt einmal der Salzgehalt an der oberen Grenze bis auf 34,5‰). Deutlich von Einfluß ist ferner ein kräftiger Strom. Die Korallen siedeln sich nur auf solchem Felsgrunde an, der von sehr starken Strömungen bestrichen wird und setzen sich dabei nie in die Stromwirbel hinter Felsecken und -kanten, sondern unmittelbar auf die Vorsprünge selbst; oder sie heften sich an weite ebene Felspartien, die von den Strömungen sozusagen blankgescheuert werden. In den Stromwirbeln hinter den „Nasen“ leben ganz andere Biocönosen, leben Gesellschaften, die vor allem durch einen Reichtum an Arten und Individuen von Spongien gekennzeichnet sind.

Diese Tatsachen sind wichtig für die Beurteilung der subfossilen nordischen Korallenriffe sowie für Schlußfolgerungen über die früheren

Meeresverhältnisse im nördlichen Europa. Am Trondhjemfjord hat O. Nordgaard mehrere litorale subfossile *Lophohelias*stücke in Gemeinschaft mit den der Biocönose zugehörigen Mollusken gefunden. Das beweist unwiderleglich, daß sich das Land hier jedenfalls um etwa 200 m gehoben hat und daß zu der Zeit, wo diese Tiere hier lebten, die biophysikalischen Verhältnisse der Meerestiefen dieselben waren wie jetzt. An anderen Stellen können wir sehen, wie sich die Verhältnisse „verschlechtert“ haben. In vergangenen Zeiten hat *Lophohelia* in den Westfinmarken bei Söröy weit nördlicher gedeihen können, als sie es heute vermag, wo ihr die Nordgrenze bei den Lofoten gesetzt ist. Bei Dröbak, im Kristianiafjord, finden sich die *Lophohelia*-bänke gewöhnlich schon in 2 bis 70 bis 80 Faden Tiefe; sie sind heute fossil, *Lophohelia* lebt jetzt überhaupt nicht mehr im Kristianiafjord, sei es, weil die Strömungen zu schwach und zu „unrein“ sind, sei es, weil andere hydrographische Faktoren es verhindern. Über die Hebung des Landes im südlichen Norwegen geben die höher gelegenen subfossilen Riffe ein deutliches Maß ab: schon Michael Sars konnte hier ja Korallenbänke nachweisen, die heute rund 30 m über dem Meerespiegel liegen.

Doch überlassen wir die weitere Auswertung solcher Funde getrost den Geologen; ich möchte heute vor allem und mit Nachdruck die Aufmerksamkeit der Biologen auf die überraschende Tatsache gelenkt haben, daß Rifffkorallen nicht ausschließlich in den Tropen ihre Bänke bilden und also hohe Temperatur nicht ohne weiteres Erfordernis für die Bildung von typischen Korallenbiocönosen in Form von Bänken, d. h. tief im Meer versenkten Riffen ist. Ebenso müssen Rückschlüsse auf tropische Verhältnisse in der Vorzeit aus Korallenfunden nur mit der größten Vorsicht und Kritik behandelt werden. Es dürfte endlich aus dieser Auseinandersetzung hervorgehen, wie notwendig es ist, daß der Paläobiologe und der Biologe in solchen Fragen zusammenarbeiten.

### Der gegenwärtige Stand der geologischen Forschung: Die tektonischen Bewegungen.

Von S. v. Bubnoff, Breslau.

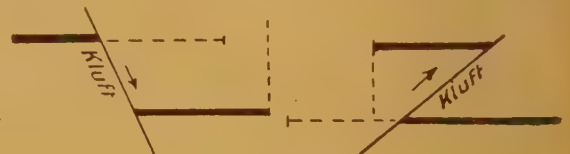
(Schluß.)

#### Die Analyse der Kräfte.

Bisher habe ich nur von Bewegungen der Erdrinde gesprochen und absichtlich jede Bezugnahme auf die wirksamen Kräfte vermieden. Mit der Frage nach den Kräften tritt man in ein viel schwierigeres und unsichereres Gebiet der Forschung ein. Die Kräfte sind ja nicht unmittelbar der Beobachtung zugänglich und ihre Äußerungen, die Bewegungen, sind, wie gesagt, nicht als einfache Funktion der Kräfte anzusehen. Je nach dem Material und nach der Ansatzstelle

kann eine Kraft in Komponenten zerlegt werden, so daß Richtung der Kraft und Richtung der Bewegung durchaus nicht zusammenzufallen brauchen.

Ich will nun im folgenden zunächst von dem Ursprung der Kräfte absehen und nur diese selbst und die Methoden zu ihrer Analyse besprechen. Dabei müssen wir uns zunächst darüber klar werden, welche mechanischen Kräfte überhaupt zur Erklärung tektonischer Bewegungen herangezogen werden können. Außer der Gravitation, die für die Erklärung vertikal absteigender Bewegungen zweifellos in Frage kommt, sind es vor allem zwei Kräfte, die, in der Wirkung verschieden, räumlich oft eng verknüpft sind: Zug und Druck. Die Wirkungen dieser beiden Kräfte sind gegensätzlich, insofern als der Zug eine Vergrößerung, der Druck eine Verkleinerung der ursprünglichen Oberfläche anstrebt. In dieser Beziehung sind die beiden Kräftegruppen bis zu einem gewissen Grade den beiden großen Gruppen von Störungsformen zugeordnet. Das beifolgende Schema zeigt, daß eine „normale“ Verwerfung, d. h. eine solche, bei der die trennende Kluft nach dem gesunkenen Flügel geneigt ist, eine Vergrößerung



Normale Verwerfung. Überschiebung.

Fig. 1. Profil einer Verwerfung und einer Überschiebung; zeigt die Vergrößerung bzw. Verkleinerung der Oberfläche.

der Oberfläche hervorruft, eine Überschiebung dagegen eine Verkleinerung zur Folge hat.

Überschiebungen und Falten können mithin als Druckwirkung, Verwerfung und Kluftbildung oft als Zugwirkung aufgefaßt werden. Dabei stehen aber alle diese Kräfte in enger Wechselbeziehung. Die Gravitation sucht alle Teile der Oberfläche nach dem Zentrum zu ziehen; bei einer idealen Kugel werden sich aber die einzelnen Teile gegenseitig in ihrer zentripetalen Bewegung hemmen und als Folge entsteht ein allgemeiner *Gewölbedruck* an der Oberfläche. Ich werde weiterhin zeigen, daß diese Überlegung nicht zur Erklärung aller Druckkräfte an der Oberfläche ausreicht; als Teilerklärung für die Druckkräfte mag sie aber zutreffen. So erklärt Stille die Rahmenfaltung aus einem ähnlichen Prozeß; ein sinkendes Oberflächenstück gerät in größere Nähe vom Zentrum der Kugel; es wird zu groß und die dabei auftretenden Druckkräfte legen die horizontale Platte in Falten. Fig. 2 kann das illustrieren.

Abgesehen davon stehen aber Zug und Druck in enger genetischer Beziehung, worauf in letzter Zeit Quiring und der Verfasser, besonders aber



Cloos aufmerksam gemacht haben. Jede Masse, die einem gerichteten Drucke ausgesetzt ist, wird in der Richtung des Druckes zusammengepreßt; sofern sie nun nicht ganz starr ist, versucht sie auszuweichen; das ist nur in der Richtung senkrecht zum größten Druck, d. h. nach oben und unten, oder nach den Seiten möglich. Senkrecht zum Druck ist daher ein Ausweichen oder eine Zugwirkung zu beobachten, die sich vor allem in einem Aufreißen von Klüften äußern wird. Beobachtungen von Klüften sind daher für die Analyse der Kräfte von allergrößter Bedeutung und auf ihnen beruht sehr wesentlich die weiter zu besprechende Cloos'sche Methode. Zunächst sollen aber der Reihe nach andere Methoden zur Analyse der Kräfte betrachtet werden.

Die gewöhnliche Methode der Kräftebestimmung geht von der Betrachtung der Oberfläche der Erde und ihrer Bewegungsformen aus. Indem sie alle sichtbaren geologischen Daten zusammenstellt, versucht sie die Bewegungsbilder zu einem Einblick in das Wesen der Kräfte zu verwerten. Sie geht also von bestimmten geologisch und tektonisch gut erforschten Gegenden

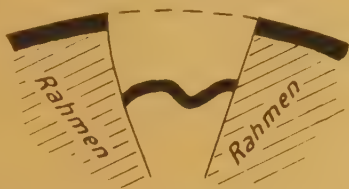


Fig. 2. Stauchung einer Scholle infolge von Einsinken.

aus und sucht aus der geologischen und tektonischen Karte die mechanischen Schlüsse abzuleiten. Man kann sie die *regionale* Methode nennen. Eigentlich folgen die meisten geologischen Arbeiten diesem Wege; besonders bezeichnend und typisch für sie ist das berühmte Werk von E. Suess „Das Antlitz der Erde“. Hier ist zum ersten Mal das ganze Material über die Tektonik der Erdoberfläche zusammenfassend großzügig behandelt worden. Aus dem Verlauf der Gebirge, aus den in ihnen auftretenden Erscheinungen vulkanischer und tektonischer Art, hat Suess versucht, einen Überblick über die Kräfte zu erhalten. Das Werk bildete eine Epoche in der Geologie. Die Entstehung der Faltengebirge aus seitlichem Druck, die Richtung des Druckes, sein Einfluß auf starrere und weichere Gesteinsmassen, seine Hemmung durch Widerstände an alten Gebirgen und eine Fülle anderer grundlegender Probleme fanden hier zum ersten Mal eine brauchbare Lösung. Doch darf man nie verkennen, daß der Methode ein stark spekulativer Einschlag zukommt, da sie eben nur die Bewegungen der Oberfläche betrachten und deuten kann; eine Verknüpfung nach der Tiefe ist ihr dem Wesen nach versagt. Die Bewegungen sind aber ihrem Ursprung nach nicht eindeutig. Insbesondere bei der Deutung vertikaler Bewegungen

hat die Methode oft versagt. Der Sueßsche Schluß, daß es nur vertikal absteigende Bewegungen gibt, daß alle scheinbar gehobenen Schollen nur durch Senkung der Umgebung und des Meeresspiegels als solche erscheinen, kann heute als widerlegt gelten. Der Verlauf und die Erscheinungsart der Störungen kann dabei wenig aussagen, zumal verschiedene Kräfte — Gravitation, Zug und Druck — in mannigfacher Kombination vorliegen können.

Hier greift mit Erfolg eine andere Methode ein, die man allgemein als *Analyse der Schwere* bezeichnen kann. In der Hauptsache geht sie auf einige von Dutton 1888—1890 entwickelte Leitsätze der Lehre von der *Isostasie* zurück, die aber erst durch die von Wiechert und Sueß entwickelte Tiefengliederung der Erde eine exakte Basis erhalten hat. Nach Wiecherts Forschungen, die hauptsächlich auf Beobachtungen bei Erdbeben und auf astronomischen Gründen fußen, besteht die Erde aus einem schweren Kern von Nickeleisen und einem leichteren Gesteinsmantel. In diesem kann man wieder einen schwereren tieferen Teil, aus Silicium-Magnesium-Verbindungen bestehend — Sima — und eine leichtere Rinde von Silicium-Aluminium-Gesteinen — Sal — unterscheiden. Wäre nun die äußere Rinde imstande, sich durch den darin herrschenden Gewölbedruck selbst zu tragen, so käme die Beschaffenheit des Kernes weniger in Frage. Zahlreiche Überlegungen haben aber gezeigt, daß das nicht der Fall ist; mithin wird die leichte Rinde von dem schweren Kern gestützt — sie schwimmt auf ihm wie Eisschollen im Wasser. Wäre nun die Erdrinde überall gleich dick, so müßte die Anziehung durch den schweren Kern überall gleich sein, d. h. auf der ganzen Erde müßten gleiche Schwereverhältnisse herrschen. Die Schwere wird durch Pendelbeobachtungen festgestellt. (Vgl. darüber diese Zeitschr. 1921, Nr. 13, S. 882, v. Bubnoff, Gebirgsbildung und Schwere.) Dieses ist nicht der Fall; ganz allgemein herrscht z. B. auf den Kontinenten geringere Schwere als auf den Ozeanen. Die leichten „Sal“-Schollen tauchen also verschieden tief in den „Sima“-Untergrund ein. Wird nun eine solche Scholle belastet, z. B. durch fortdauernde Ablagerung von Gesteinsschutt, so sinkt sie, genau wie eine Eisscholle, tiefer; wird sie durch Gesteinsabtragung entlastet, so steigt sie empor. Auf diesem, besonders von Lukaschewitsch ausgeführten Grundsatz können sehr wohl vertikale Bewegungen beruhen, die ein „isostatisches Gleichgewicht“ der Oberfläche anstreben.

Eine Karte der Schwereverhältnisse auf der Erde kann also über manche Kräfte Auskunft geben, und diese Untersuchungsmethode haben Hayford, Deceke, Koßmat u. a. weitgehend angewandt. Die Karte zeigt aber noch mehr. Sie ergibt, daß das isostatische Gleichgewicht nicht alle Schwereverhältnisse erklärt; selbst unter dessen Berücksichtigung erscheinen einige Ge-

biete (z. B. junge Faltengebirge) zu leicht, andere (z. B. Geosynklinalen) zu schwer. *Koßmat* vor allem hat gezeigt, daß die sorgfältige Analyse dieser nicht unmittelbar sichtbaren Verhältnisse der Tiefe und ihr Vergleich mit den geologischen Erscheinungen der Oberfläche weitgehende Rückschlüsse auf die Kräfte erlaubt. Da ich vor kurzem über seine Arbeiten berichtet habe (vgl. oben), kann ich mich damit begnügen, auf meinen Artikel hinzuweisen.

Die ersterwähnte Methode ist von den Oberflächenverhältnissen der Erde ausgegangen, die zweite von dem Zustand des nur mittelbar erschließbaren Erdinnern. Die *tiefentektonische Methode* von *Cloos* nimmt in dieser Hinsicht eine vermittelnde Stellung ein, indem sie von den tiefsten erschlossenen Teilen der Erdrinde, den weit abgetragenen Grundgebirgskernen ausgeht. Die Abtragung hat hier die oberste starre Kruste, welche die jungen Gebirge umhüllt, weitgehend abgeschält. Heute kommen in ihnen tiefere Teile der Rinde zum Vorschein, die unter dem Einfluß der früher aufliegenden Massen und der früher höheren Temperatur, welche ja nach dem Erdinnern stetig zunimmt, eine plastischere, weichere Beschaffenheit hatten. Diese drückt sich im kristallinen Gefüge der Schichten (Gneiß, Glimmerschiefer) und in der Einschaltung von Graniten, Dioriten, Syeniten und anderen in der Tiefe erstarrten vulkanischen Gesteinen aus. *Cloos* hat gezeigt, daß diese in der Erstarrung befindlichen Gesteine als „Druckmesser“ besonders geeignet sind und auch durchweg Spuren eines gerichteten Druckes aufweisen. In der Richtung des Druckes reißen in diesen Gesteinen Spalten auf — als Folgeerscheinung der Zugwirkung und des Ausweichens vor dem Druck. Senkrecht zum Druck entwickelt sich in ihnen ein „Parallelgefüge“, eine parallele Anordnung aller Mineralien des Gesteins. So gestattet ein Nachmessen der Klüfte und des Parallelgefüges die Druckrichtung während der Bildungszeit dieser Gesteine ganz genau anzugeben. An einer Karte Schlesiens, auf der nach diesem Prinzip die Linien geringsten Druckes für große Teile der Sudeten, für Riesengebirge und Lausitz angegeben wurden, zeigt sich die Fruchtbarkeit der Methode, welche, da sie eine unmittelbare Ablesung der jeweiligen Druckrichtung gestattet, auch Druck und Bewegung, d. h. beide möglichen Komponenten einer Kraftäußerung zu scheiden erlaubt.

Die Methode hat schon jetzt, nach kaum zweijähriger Anwendung, sehr bemerkenswerte Ergebnisse gezeigt. Vor allem hat sie gezeigt, daß das Eindringen vulkanischer Gesteine in die Erdrinde von denselben Kräften geleitet wird, wie die tektonischen Bewegungen der Oberfläche. Zug und Druck schaffen die Raumveränderungen, welche an der Oberfläche durch Einbruch und Faltung, in der Tiefe durch Eindringen glutflüssigen Gesteinsmaterials ausgeglichen werden. Richtung und Wirkung der Kraft und ihr Verhältnis zur

Bewegung können auf diesem Wege fast mathematisch genau analysiert werden. Ein kurzes Referat über diese Methode hat 1921 *Koßmat* in dieser Zeitschrift veröffentlicht.

Kurz sei hier noch der *geologischen Experimente* gedacht, die als vierte Methode zur Analyse der Kräfte dienen können. Die ersten Versuche in dieser Richtung hat der französische Geologe *Daubrée* in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts angestellt. Er setzte verschiedenes Material — sprödes Glas, weiches Wachs — der Wirkung von Zug und Druck aus und versuchte auf diesem Wege die Analogie zu den Bewegungen der Erdrinde aufzuzeigen. In neuerer Zeit hat dann vor allem *Paulcke* den Druck als Faltenbildner an Apparaten nachzuweisen versucht, welche die tatsächlichen Verhältnisse auf der Erde möglichst genau wiedergeben. So lehrreich diese Experimente sind, eine beweisende Rolle kommt ihnen selten zu. Die tektonischen Bewegungen spielen sich in unnachahmbar großen Verhältnissen von Raum und Zeit ab, die nicht ohne weiteres verkleinert werden dürfen, ohne Sinn und Richtung des Vorganges zu verändern. Es ist fast unmöglich, alle Konstanten des Vorganges — Gesteinsfestigkeit, Druckstärke, Zeitmaß, Gravitation — in gleichem Verhältnis zu reduzieren; somit bleiben geologische Experimente immer Analogien und werden nie zu strengen Beweisen.

#### Der Ursprung der Kräfte.

Wie ich gezeigt habe, kann man sich heute von der Richtung und der Wirkungsweise der tektonischen Kräfte ein recht genaues Bild machen. Anders verhält es sich mit der Frage nach dem Ursprung dieser Kräfte; hier tapen wir noch vielfach im Dunklen, da die Verhältnisse an der Oberfläche verschiedene Deutungen zulassen. Es ist im höchsten Grade wahrscheinlich, daß ein weiterer Ausbau der tiefentektonischen und der Schweremethode auch hier Klarheit schaffen wird; doch kann man sich heute nicht verhehlen, daß die gegenwärtig gangbaren Theorien eigentlich nur Anschauungen sind, denen oft die letzte Klarheit und Folgerichtigkeit abgeht. Ich will daher weiterhin nur kurz andeuten, in welcher Richtung man heute eine Lösung dieser letzten Fragen der tektonischen Geologie sucht.

Nachdem die Erhebungstheorie von *L. v. Buch*, welche die Gebirgsbildung auf eine Auftreibung durch vulkanisches Material zurückführte, als mit den Tatsachen unvereinbar fallen gelassen wurde, herrschte lange Jahre die *Schrumpfungstheorie* der Erde ziemlich unbeschränkt; sie geht auf den französischen Forscher *Elie de Beaumont* zurück, wurde aber vor allem durch den Amerikaner *Dana* ausgebaut und wird noch heute von vielen namhaften Geologen anerkannt. Ihr Gedankengang ist kurz der folgende: durch Ausstrahlung in den Weltenraum erkaltet die Erde; der noch flüssige Kern schrumpft dabei stärker, als die schon starre



Rinde, und diese legt sich daher in Falten, wie die Schale eines trocknenden Apfels; der Gewölbedruck in der Kugel wandelt hierbei die zentripetale Bewegung an der Oberfläche in horizontalen Druck um. So einleuchtend diese Anschauung erscheinen mag, es erheben sich in letzter Zeit ziemlich schwere Bedenken dagegen. *Ampferer* hat vor allem gezeigt, daß die Gesteinsfestigkeit zu gering ist, um den angenommenen Druck auszuhalten und weiterzuleiten; dieser Druck müßte auch das festeste Gestein zermalmen, und als Resultat hätten wir nicht einzelne wohl umschriebene Faltengebirge, sondern eine allgemeine Runzelung der Oberfläche. Ich muß mich hier begnügen, diesen einzelnen Einwand gegen die Theorie vorzubringen; die Menge der Bedenken ließe sich stark vermehren, und so kommt man immer mehr dazu, die an sich noch problematische Schrumpfung jedenfalls nicht für alle tektonischen Prozesse verantwortlich zu machen.

Es ist in hohem Grade wahrscheinlich, daß auch von der Schrumpfung unabhängige Bewegungen in der Erde möglich sind. Solche Bewegungen vertikaler Art haben wir am Beispiel der Isostasie kennen gelernt. Doch wird neuerdings auch die Möglichkeit großer horizontaler Verfrachtungen leichter „Sal“-Schollen über schwerem „Sima“-Untergrund, also gleichsam ein Schwimmen von Erdkrustenteilen erwogen. *A. Wegener* hat sogar die Theorie großer Horizontalverschiebungen ganzer Kontinente aufgestellt, z. B. Amerika und Europa als nachträglich auseinandergerückte Teile eines früher zusammenhängenden Blocks betrachtet. Auch hier muß ich mich mit einem kurzen Hinweis begnügen, ohne das Für und Wider, über welches die Akten noch nicht geschlossen sind, zu erwägen. Lehnt man aber auch die Bewegungen in dem von *Wegener* geforderten Ausmaß ab, so scheinen doch die Schwereuntersuchungen *Koßmats* zu zeigen, daß einzelne starre Blöcke der Erdrinde Eigenbewegungen ausführen können und daß die Faltengebirge zwischen ihnen als weichere, faltbare Bänder — „Erweichungsgürtel“ — hindurchlaufen.

Für horizontale Bewegungen und für damit zusammenhängende Faltungerscheinungen lassen sich außer der Kontraktion auch andere Ursachen aufzählen. Eine solche würde vor allem in *Polverlegungen*, also in einer Verschiebung der Drehungsachse und des Schwerpunktes der Erde, liegen, die sehr wohl Bewegungen innerhalb der Rinde zur Folge haben könnte. Diese besonders von *Kraichgauer* vorgebrachte Theorie entbehrt nicht einiger wahrscheinlicher Grundlagen, wenn sie auch kaum für alle Bewegungen verantwortlich gemacht werden kann. Im Prinzip werden hier also die tektonischen Bewegungen wieder auf kosmische, außerhalb der Erde liegende Kräfte zurückgeführt, da die angenommenen Polver-

legungen ja mit der Stellung der Erde im Weltenraum zusammenhängen müssen.

Ein anderer Weg zur Erklärung führt in die Tiefe der Erde; man kann sich ja auch vorstellen, daß die Bewegungen der Erdrinde von Verschiebungen im plastischen Erdkern getragen werden. Dieser ist physikalisch und chemisch wohl nicht ganz einheitlich; es ist daher durchaus denkbar, daß in seinem Material Ausgleichsströmungen stattfinden, die, unter wechselnden physikalisch-chemischen Bedingungen, hier zum Auskristallisieren, dort zum Aufschmelzen von Gesteinsmaterial führen können. Daneben sind, wie *Schwinner* neuerdings gezeigt, auch Wärme-strömungen nach Analogie der Meeresströmungen und der Zyklone und Antizyklone der Luft im plastischen Erdinnern denkbar. Beide Prozesse sind aber mit Volumenschwankungen verbunden. Für diese Strömungen ist besonders die innere Schale der Erde von Bedeutung, welche eine Grenze zwischen der starren Kruste und dem durch Wärme und Druck plastischen Untergrund darstellt. Es ist bezeichnend, daß sowohl vom Standpunkt der Isostasie, als auch von der Betrachtung des Verhaltens von Schmelzen ausgehend, *Adams, van Hise, Tamann* usw. zu der Annahme einer solchen „inneren Ausgleichsfläche“ gekommen sind, die etwa in 100 km Tiefe zu suchen wäre, und wiederum mit Beobachtungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Erdbenenwellen und deren Veränderung im Inneren der Erde gut harmonisiert. Kristallisationsprozesse finden nun bei hohem Druck gelegentlich unter Volumenvermehrung statt; dann würde an der betreffenden Stelle ein Auftreiben der Rinde stattfinden, eventuell ein seitliches Abgleiten der gehobenen Teile auf der plastischen Unterlage infolge des vergrößerten Gefälles. Bei Volumenverminderung im Untergrunde könnten dagegen überschüssig gewordene Oberflächenteile einstürzen — verschluckt werden. Es ist ohne weiteres einzusehen, daß solche Vorgänge zu einer Faltung führen könnten. Diese Überlegungen bilden die Grundlage der *Unterströmungs- und Verschluckungstheorie Ampferers*. Neuerdings hat *Schwinner* versucht, die Möglichkeiten von Strömungen im flüssigen Untergrund der Erde in Beziehung zu tektonischen Prozessen genauer zu analysieren. Weniger wahrscheinlich ist dagegen die thermische Theorie *Mallard Reads*, wonach tief eingesunkene Teile der Rinde (Geosynklinalen) infolge ihrer Versenkung in ein Gebiet größerer Wärme sich ausdehnen und Faltengebirge erzeugen. Die Stetigkeit des Senkungsvorganges und die mehr episodische Natur faltender Bewegungen sind hier schwer in Einklang zu bringen.

Allen vorgebrachten Theorien fehlt heute noch eine exakte Unterlage. Das liegt zum Teil in der Natur der Sache. Sofern man nämlich die Ursache der gebirgsbildenden Vorgänge in tiefere Teile der Erde verlegt, sucht man sie da-

mit in einem Gebiet, welches der unmittelbaren Beobachtung entzogen ist. Allerdings ist es von vornherein wahrscheinlich, daß der Ursprung der Kraft eben in diesen tieferen Teilen der Erde liegt. Es gehört zu den wichtigsten und reizvollsten Aufgaben der Geologie, durch eine Kombination geologischer, physikalischer und chemischer Methoden diesen Problemen auf die Spur zu kommen. Vorerst hat es aber wenig Zweck, alle die Anschauungen in allgemeinverständlicher Weise darzustellen. Mehr als je sind heute diese Grundanschauungen in Umbildung begriffen. Die fortschreitende Erkenntnis und Kritik hat uns wohl gelehrt, einige althergebrachte Ansichten als falsch zu erkennen, konnte aber bisher keinen vollgültigen Ersatz bieten.

Dabei ist aber nicht zu verkennen, daß gerade auf dem Gebiet der tektonischen Geologie die letzten Jahrzehnte einen ungeheuren Fortschritt gebracht haben. Wenn man moderne exakte Arbeiten mit den oft phantastischen Spekulationen aus dem vergangenen Jahrhundert vergleicht, so fällt der Unterschied unmittelbar auf. Ja, man kann vielleicht sagen, daß die Geologie von allen Naturwissenschaften in den letzten 50 Jahren mit den weitesten Weg zurückgelegt hat. Das Wesen der Bewegungsvorgänge ist weitgehend geklärt worden; für die Analyse der Kräfte besitzen wir heute das Rüstzeug durchaus exakter Methoden. Sogar den Problemen der unsichtbaren Tiefe können wir auf der Grundlage der Schwerebeobachtungen näherkommen. Diese Entwicklung führt uns aber auch dem letzten Problem, der exakten Lösung der Frage nach dem Ursprung der Kräfte, entgegen.

So abstrakt diese letzten wissenschaftlichen Ziele auch zu sein scheinen, sie entbehren keineswegs einer praktischen Bedeutung. Manche nutzbaren Lagerstätten kann man nur begreifen und verfolgen, wenn man ihre Entstehung nicht nur chemisch, sondern auch mechanisch erforscht hat. Dazu genügt aber nicht allein die unmittelbare Beobachtung; die Praxis kann vielmehr weitgehend durch eine auf allgemeinen Erfahrungen fußende Methode und Theorie befruchtet werden. Es ist erfreulich, daß diese Überzeugung sich auch außerhalb der Fachkreise immer mehr zu festigen scheint.

### Besprechungen.

**Autenrieth, Ed., Technische Mechanik.** Ein Lehrbuch der Statik und Dynamik für Ingenieure, neu bearbeitet von Dr.-Ing. Max Enßlin. Dritte verbesserte Auflage. Berlin, Julius Springer, 1922. XV, 564 S. und 295 Textabbildungen.  $15\frac{1}{2} \times 24$  cm. Preis geb. M. 195,—.

Die Nachfrage nach Lehrbüchern der technischen Mechanik, die den besonderen Wünschen des Maschineningenieurs angepaßt sind, ist erfreulicherweise sehr erheblich, gerade in einer Zeit, in der in weiten Ingenieurkreisen das Bedürfnis nach vertiefter Ausbildung in den Grundlagen empfunden wird. Denn

die moderne Technik verlangt die Ausnützung auch mancher bisher wenig beachteter Gesetze der physikalischen Mechanik, und die aufs höchste gespannten Anforderungen an die Ökonomie des Betriebes und die Ausnützung des teuren Konstruktionsmaterials erfordert ein viel schärferes Durcharbeiten der gestellten Aufgaben, als dies früher der Fall war.

Dazu kommt noch ein zweiter Punkt. Durch den Krieg sind eine große Anzahl von Menschen aus ihren früheren Berufszweigen herausgerissen worden (Offiziere, Seeoffiziere usw.), die sich nun dem technischen Studium zuwenden und zum Teil durch Selbstunterricht ihre technische Ausbildung zu beschleunigen bestrebt sind. Für diese ist ein gut verständlicher Lehrgang der technischen Mechanik eine Notwendigkeit.

Es gibt nun glücklicherweise schon eine Reihe hervorragend geeigneter Werke, die den genannten Zwecken entsprechen. Aber jedes von diesen Mechaniklehrbüchern hat auch seine Eigenart, die darum keines als überflüssig erscheinen läßt. So ist, um nur einige zu nennen, für ein tieferes Versenken in die Grundlagen und scharfes begriffliches Unterscheiden der Gedankengänge das Werk von *Hamel* besonders geeignet, während *Lorenz* sich mehr an die Leser wendet, die mit den gedanklichen Grundlagen schon vertraut sind und nun den mechanisch-mathematischen Ausbau von besonderen Problemen der Technik kennen lernen wollen. *Föppl* in seinen bekannten sechsbändigen Vorlesungen kennt die Schwierigkeiten, die sich Anfängern entgegenstellen, und geht mit wahrer Liebe gerade auf alle diese Punkte ein. Freilich wird sein Werk dadurch umfangreich und für viele unerschwinglich teuer. Manche andere Bücher über technische Mechanik bieten dafür zu wenig und vermitteln nur elementare Kenntnisse, die den heutigen Anforderungen nicht mehr genügen. Da ist also noch Platz für Mechanikbearbeitungen, die verschiedene der genannten Vorzüge besitzen und sich von etwaigen Nachteilen frei halten.

Zu diesen Werken ist vor allem das Lehrbuch der technischen Mechanik von *Autenrieth-Enßlin* zu rechnen, das nunmehr in dritter Auflage vorliegt. Es erfüllt in der Tat den Zweck, bei strengster Betonung der grundlegenden Sätze — (in dieser Strenge kann gegenüber manchen allgemeinen verschwommenen Ansichten nicht weit genug gegangen werden!) — in nicht allzu großem Umfang die Lehren der Mechanik zu vermitteln, und zwar dem Anfänger durch klare Darstellung der Grundlagen, dem Fortgeschrittenen durch reiche Auswahl praktischer Probleme und durch Hinweis auf weiteren Ausbau und spätere Möglichkeiten. Die erforderlichen mathematischen Kenntnisse sind die, welche der Student an der Technischen Hochschule lernt und die der Durchschnittsingenieur beherrschen sollte. Die Anforderungen nehmen beim Studium des Buches zu, das beispielsweise in verschiedenen Kapiteln der höheren Dynamik die Kenntnis der Vektorrechnung voraussetzt. Daß die Vertrautheit mit vektoranalytischen Methoden ja schon mit der einfachen und leicht zu erlernenden Vektoralgebra die Einsicht in die mechanischen Vorgänge und ihre Anschaulichkeit sehr fördert, wird ebenso wenig bestritten werden können, wie die Tatsache, daß noch in sehr vielen Kreisen diese Disziplin unbekannt ist oder zum wenigsten aus Mangel an Übung nicht benützt wird. Es wäre zu wünschen, daß an den Hochschulen zum mindesten als Einführung zur Mechanik mehr als es bisher der Fall ist, die Vektor-



rechnung gelehrt wird: eine Übersicht, wie sie in dem vorliegenden Buche auf 24 Seiten im Anhang gegeben wird, genügt wohl in den meisten Fällen, besonders dann, wenn wie hier gleich als Übungsbeispiele wichtige Lehren der Mechanik herangezogen werden.

Gehen wir nun das Buch im einzelnen durch, so fällt schon in der Einleitung die bisweilen recht originelle Art auf, in der verschiedene Grundbegriffe, wie Kraft, Trägheit und Bewegungsformen sowie die „Axiome“ erläutert werden, ohne daß sie allzu umständlich behandelt und dadurch für den Anfänger manchmal verwirrend wirken.

Die mit der Relativitätstheorie verbundenen Fragen werden überhaupt nicht erwähnt, ein Umstand, der manchem bedauerlich erscheinen mag, der aber durch die gebotene Kürze und durch die geringe Wichtigkeit solcher Betrachtungen für die *technische* Mechanik sich wohl rechtfertigen läßt.

Die Einteilung des Stoffes ist die in den meisten Mechaniklehrbüchern übliche: Statik, Dynamik des materiellen Punktes, Dynamik des starren Körpers. Aus dem sehr reichen und durch gut gewählte Beispiele anregend gestalteten Inhalt seien nur einige bemerkenswerte Einzelheiten herausgehoben. So ist der oft etwas vernachlässigten Lehre von den Stütz-(Reaktions-) Kräften ein besonderes Kapitel gewidmet, in dem dieser für Anfänger oft schwierige Abschnitt eine erfreulich klare Beleuchtung erfährt und durch die Beschreibung einfacher Versuchsvorrichtungen diese Kräfte sozusagen greifbar nahe bringt.

Nach Ansicht des Referenten würden sich an dieser Stelle die Fachwerke am besten einfügen lassen, nicht aber, wie es der Verfasser tut, die Reibung und die einfachen Maschinen. Diese Kapitel, die eine Art Zwischenstellung zwischen Statik und Dynamik einnehmen, und sehr wohl auch Anlaß zu dynamischen Erörterungen geben können, müssen an dieser Stelle natürlich nur von statischen Gesichtspunkten aus betrachtet werden. Bei einzelnen Teilen ließ sich freilich eine dynamische Betrachtung nicht umgehen, wie zum Beispiel bei der Lagerreibung, wo eine recht anschauliche Darstellung der modernen hydrodynamischen Theorie der Schmiermittelreibung wenigstens dem Wesen nach gegeben wird. Sehr verdienstlich ist auch der eindringliche Hinweis auf den *Sinn* der Reibungsrechnungen (Über- oder Unterschätzen der Reibung je nach dem Zweck) und das Hervorheben des Wertes von Versuchen. Bei der nun erst folgenden Theorie der ebenen Fachwerke ist die praktischste Methode zur Zeichnung des Cremonaplanes mit Hilfe der „Felder“-bezeichnungen gebührend hervorgehoben. Nach Erfahrung des Rezensenten ist es das einzige Verfahren, welches ungeübten Anfängern die Zeichnung richtiger Cremonapläne sozusagen automatisch ermöglicht.

Bedauerlich ist, daß in der dritten Auflage des Buches das räumliche Fachwerk ganz weggefallen ist. Auch der Maschineningenieur kommt gelegentlich in die Lage, Untersuchungen dieser Art auszuführen (z. B. bei Flugzeugrümpfen), und da wäre eine knappe Einführung — wenn sie auch ein ausführliches Spezialwerk nicht ersetzen kann — doch jedenfalls erwünscht.

In dem Kapitel: „Seilartige Körper“ bot sich Gelegenheit, einige moderne Versuche und Anschauungen über elastische Riemen einzufügen und manchen veralteten Ansichten (z. B. über Achsdruck) entgegenzutreten. Etwas erschwert wird das Studium hier allerdings dadurch, daß einige hierher gehörigen neueren

Untersuchungen wie die von *Camerer* und *Fieber*, erst später unter dem Kapitel *Arbeit* zu finden sind.

In diesem wichtigen Kapitel, welches das Energieprinzip in seiner Bedeutung gebührend hervorhebt, findet man auch einen leider etwas kurzen Paragraphen über das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten (der Name wird nicht genannt, was im Interesse der historischen Bedeutung zu bedauern ist). Die leider oft verkannte Wichtigkeit gerade dieses Prinzips und seine universelle Anwendbarkeit hätte wohl ein deutlicheres Hervorheben gerechtfertigt, auch würde durch die Wahl von verwickelteren Beispielen der Wert des Prinzips deutlicher zum Ausdruck gekommen sein.

In dem großen Abschnitt „Kinetik“ könnte von den für Techniker so sehr anschaulichen Weg- und Geschwindigkeitsdiagrammen wohl ein noch weiter gehender Gebrauch zur Lösung von allerlei Aufgaben gemacht werden. Der dabei oft Schwierigkeiten und Fehlerquellen bietenden Maßstabfrage beim graphischen Differenzieren ist dagegen anerkennenswerte Beachtung geschenkt worden.

Dem Grundsatz des Buches entsprach es, daß nunmehr beim Übergang von der Kinetik zur Dynamik die mit der Einführung des *Massenbegriffes* verbundenen grundlegenden Fragen mit besonderer Sorgfalt behandelt wurden. Dabei ergab sich zwanglos die Möglichkeit, das D'Alembertsche Prinzip für die Punktmechanik grundsätzlich mit zu erledigen. Wegen der damit verbundenen begrifflichen Schwierigkeiten und im Hinblick auf einige in letzter Zeit aufgetauchte Streitfragen über die „korrekte“ Fassung des Prinzips (deren breite Auseinandersetzung meines Erachtens für den Techniker wenig Bedeutung besitzt) ist es erfreulich, festzustellen, daß hier der Ingenieur zu Worte kommt und daß nur dasjenige herausgegriffen wird, was dazu dient, um das Eindringen in diese Grundlehren zu erleichtern und mißverständliche Auffassungen oder falsche Anwendungen zu verhindern.

In dieser Beziehung war auch der deutliche Hinweis darauf notwendig, daß die Trägheitskräfte keine wirklichen Kräfte sind, wie es auch an späterer Stelle bei der bekannten Erörterung über die Fliehkraft mit aller Schärfe ausgesprochen wird. Die stets wieder betonte Auffassung des D'Alembertschen Prinzips: „Die Kräfte sind scheinbar im Gleichgewicht, *nicht aber der Massenpunkt, an dem sie angreifen*“, scheint mir sehr einleuchtend zu sein, wie auch der Hinweis darauf wesentlich ist, daß die Scheinkräfte unter gewissen Umständen, wie etwa für *Zwecke der Festigkeitsrechnung* als wirkliche betrachtet werden können.

Beispiele mannigfacher Art, von welchen nur die Bewegung auf der schiefen Ebene, der Kurbelmechanismus und die Besprechung der Widerstandskräfte bei der Bewegung von Fahrzeugen erwähnt seien, erläutern die erwähnten Sätze. Recht vorteilhaft besonders für das Selbststudium erscheint dem Rezensenten die krummlinige Bewegung dargestellt (Einführung des Begriffs Deviation, methodischer Unterschied in der Eulerschen und Mac Laurinschen Methode des Ansatzes!) Bei der Planetenbewegung leitet der Verfasser aus der Annahme der elliptischen Bahnen das Newtonsche Gravitationsgesetz ab im Gegensatz zu dem sonst meist eingeschlagenen umgekehrten Weg, was vielleicht dieses berühmte Beispiel nicht so wirkungsvoll hervortreten läßt.

Im übrigen ist das Hauptgewicht in diesem Kapitel auf die Bildung und Einübung der wichtigsten dynamischen Grundbegriffe gelegt, zu denen außer dem

Arbeitssatz auch der *Drallsatz* (Flächensatz) gehört, der hier noch nicht in Vektordarstellung gebracht wird.

Ein weiteres Kapitel handelt von der Relativbewegung des Massenpunktes. Hier wird die relative Beschleunigung im allgemeinen Fall, also auch die Einführung der Coriolis-Beschleunigung durch eine geometrische Betrachtung auf Grund des Deviationsbegriffes durchgeführt und an einer Anzahl bekannter Beispiele gezeigt. Erwähnenswert ist unter den Beispielen die Berechnung der Bewegungsverhältnisse am Gnomomotor, während das hier sehr gut passende Beispiel der Bestimmung der Eigengeschwindigkeit eines Luftfahrzeuges bei seitlichem Winde bedauerlicherweise fehlt.

Der letzte große Abschnitt des Buches, der von der Dynamik des starren Körpers handelt, wird noch einmal durch die Erweiterung des D'Alembertschen Prinzips (Hinzunahme der inneren Kräfte) erweitert. Technisch wichtig erscheint da die ausführliche Darlegung dessen, was in verschiedenen Fällen der Praxis als innere und was als äußere Kräfte anzusehen ist. Es folgt eine kurze Einführung in die Kinematik des starren Körpers, bei der vielleicht die Lehre von den Drehpolen und der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsermittlung, wie sie für die Bestimmung von Steuerungen notwendig ist, etwas kurz behandelt ist. Gerade die von Mohr und später von Wittenbauer gegebene Methode der Geschwindigkeits- und Beschleunigungspläne ermöglicht die leichte Durchführung einer großen Anzahl wichtiger Aufgaben.

Die Paragraphen Schwerpunktssatz, Anwendung des D'Alembertschen Prinzips auf die Translation, Satz von der Arbeit und Energie, Satz von der Bewegungsgröße des starren Körpers, können nicht eindringlich genug erörtert und studiert werden und es ist gut, daß auch ohne viel Formeln durch Aufzählung einer sehr großen Zahl technischer Beispiele dem angehenden Ingenieur die Wichtigkeit dieser Dinge eindringlich vor Augen geführt wird.

Der praktische Maschineningenieur findet des weiteren viel Bekanntes, aber auch manche neue Anregung in den umfangreichen Kapiteln „Drehung eines starren Körpers“. Bezeichnend für die praktische Art des Buches ist da das Beispiel vom Ilgneraggregat, während die Schwungradberechnung ebenfalls schon an dieser Stelle, wenn auch zunächst erst nach dem einfachen Radingerschen Verfahren, gezeigt wird (bemerkenswert ist dabei der vielfach unbekannte Hinweis auf günstigste Drehzahl bzw. auf ev. Vergrößerung der Ungleichförmigkeit mit wachsender Drehzahl, Beispiel am Automotor). Es folgen hier noch die Paragraphen über Trägheitsmomente und die einfachsten Fälle des Ausgleichs rotierender Massen, deren ausführliche Besprechung ebenso wie die eingehendere Untersuchung der Kurbelbewegung einem späteren Kapitel vorbehalten bleibt.

Die Lehre vom Kreisel leitet der Autor durch eine sehr klare Fassung des Drallbegriffs ein, der hier zunächst in Koordinatendarstellung, dann in Vektorform erklärt wird. Hiermit wird zugleich die an dieser Stelle besonders passende vektorielle Behandlungsweise eingeführt. Es ist anzuerkennen, daß hier die schönen und durch ihre Einfachheit wertvollen Untersuchungen von Grammel praktische Anwendungen gefunden haben. Besonders sei auf die äußerst kurze Ableitung der Eulerschen dynamischen Gleichungen in Vektorform hingewiesen (im Vergleich zu den sonst sehr schwerfälligen Ableitungen in Koordinaten, wie sie in älteren Lehrbüchern zu finden sind).

Die Berechnung der Momente an einem schief gelagerten Schwungrad wird hier eingeschoben, um die direkte Anwendung der Eulerschen Gleichungen an einem auch sonst leicht zu lösenden Fall zu zeigen. Sehr wichtig ist auch für den Ingenieur, der heute mehr als früher mit Kreiselfragen zu tun hat, eine klare Einsicht in die verwickelten Verhältnisse. Daher ist es auch zu begrüßen, daß die nicht ganz leichten Beziehungen der sogen. „Eulerschen Winkel“ durch eine längere Darlegung mit sehr klarer Figur erläutert werden. Die verschiedenen Kreiselaufgaben selbst erlauben dann nach so gründlicher Vorbereitung eine fast mühelose Erledigung, wobei der Rezensent es allerdings bedauert, daß bei diesen Anwendungen der Schlicksche *Schiffskreisel* nicht aufgenommen wurde, obwohl er ein so außerordentlich lehrreiches und auch praktisch wohl erprobtes Beispiel darstellt.

Ein weiteres besonderes Kapitel befaßt sich mit der Lehre von den Schwingungen, und es ist nur zu begrüßen, daß dieser Gegenstand eben dadurch in seiner Wichtigkeit für den Ingenieur besonders hervorgehoben wird. Das Heranziehen maschinen- und elektrotechnischer Vorgänge zur Ableitung und Veranschaulichung der wesentlichsten Sätze (z. B. Zeuners Schieberdiagramm) erhöht noch diesen Eindruck. Sehr eingehend, und zwar mit vollem Recht, behandelt der Verfasser die Fourierschen Reihen und die harmonische Analyse (letztere nach dem Verfahren von Fischer-Hinnen). Es konnte leider die neueste rein mechanische Methode von Herrmann (Verfahren der „mageren und fetten Fenster“) noch nicht aufgenommen werden. Ein Hinweis auf die harmonischen Analysatoren (z. B. den Maderschen) wäre wohl am Platze gewesen.

In üblicher Weise und recht ausführlich werden noch die gedämpften und die erzwungenen Schwingungen bearbeitet (die Frahm'schen Untersuchungen werden gestreift, die vielen weiteren besonders durch den U-Bootsbau entstandenen Fragen der kritischen Drehzahlen bei Torsionsschwingungen konnten leider nicht aufgenommen werden). Mit einer kurzen Besprechung der Ausgleichsvorrichtungen für rotierende Massen sowie der letzten Arbeiten über gekoppelte Systeme schließt dieses wertvolle Kapitel.

Von der Erkenntnis ausgehend, daß die mit dem Kurbelgetriebe zusammenhängenden dynamischen Probleme des Gleichganges und des Massenausgleichs von ganz besonderer Bedeutung für jeden Ingenieur sind, hat der Verfasser diesen Fragen ein eigenes Kapitel gewidmet. Auch hier ist mit dem praktischen Zweck zugleich ein Vorteil für die theoretische Erkenntnis durch die Versinnbildlichung mechanischer Gesetze in glücklicher Weise verbunden worden. Hier findet sich auch ein Wort über die allgemeinen Lagrangeschen Gleichungen der Dynamik (zweiter Art), die Enßlin in seinem Buche übergehen zu sollen glaubt. Wenn auch der dafür angegebene Grund (zu geringe mathematische Vorkenntnisse und daher ungenügende Ausnutzungsmöglichkeit) nicht von der Hand zu weisen ist, so erscheint es doch bedauerlich, daß dieses wichtige Hilfsmittel der analytischen Mechanik hier nicht aufgenommen und wenigstens an Beispielen gezeigt worden ist. Was in dieser Beziehung auch mit verhältnismäßig einfachen Kenntnissen zu machen ist, hat Föppl in seinem sechsten Bande gezeigt, und dem Geschick des Verfassers wäre es zweifellos gelungen, auch diese Sätze nutzbringend anzuwenden und für ihre so wünschenswerte Verbreitung in Ingenieurkreisen mitzuwirken.

Zu den im übrigen gut gewählten Beispielen, die



sich zum Teil an das bekannte Buch von *Kölsch* (über Massenausgleich usw.) anlehnen, ist nicht viel zu sagen; erwähnt sei nur, daß auch das Wittenbauersche Energie-Massendiagramm benutzt wird zur Schwungradberechnung und Ermittlung der Winkelbeschleunigung.

Im letzten Kapitel, das dem Stoß gewidmet ist, berichtet der Verfasser nach Erledigung von verschiedenen im übrigen bekannten Berechnungsbeispielen in dankenswerter Weise über die physikalischen Grundlagen unserer Anschauungen vom Stoß, also über die Versuche von *Plank*, *Höniger* und anderen, deren Ergebnisse auch kritisch beleuchtet werden.

Wie aus dem Gesagten zu ersehen ist, haben wir ein Werk von großer Reichhaltigkeit in modernem Gewande vor uns, und dies erklärt auch seine Beliebtheit. Das Buch ist in zweiter Auflage kurz vor dem Kriege erschienen und bald nach dessen Ende vergriffen gewesen. Wenn es nunmehr in dritter Auflage neu erscheint, und zwar wieder in der bekannten vorzüglichen „Friedensausstattung“ des Verlages (in wohlthuendem Gegensatz zu zwei gleich nach dem Kriege hergestellten und ebenfalls vergriffenen „anastatischen“ Neudrucken), so wünscht und glaubt der Rezensent, daß die Hoffnung des Verfassers sich voll erfüllen wird, daß auch die dritte Auflage unter den veränderten Verhältnissen sich in gleichem Maße Freunde erwirbt, wie die früheren.

A. Pröll, Hannover.

**Fraenkel, W., Leitfaden der Metallurgie mit besonderer Berücksichtigung der physikalisch-chemischen Grundlagen.** Dresden und Leipzig, Theodor Steinkopff, 1922. VIII, 223 S. und 87 Textfiguren. Preis geh. M. 45,—; geb. M. 52,—.

In den meisten Darstellungen der Metallurgie und ihrer Teilgebiete nimmt die Darstellung der technischen Durchführung der Prozesse den Hauptplatz ein, während die prinzipiellen chemischen Gesichtspunkte zurücktreten. Das mag daran liegen, daß die technische Beherrschung der Prozesse in der Praxis von ausschlaggebender Bedeutung ist, während die physikalische Chemie der Vorgänge bei ihrer oft so außerordentlichen Kompliziertheit noch sehr wenig geklärt ist. Es ist aber klar, daß die Beherrschung gerade dieser prinzipiellen Seite der Metallurgie für jede weitere rationelle Entwicklung von entscheidender Bedeutung sein muß. Diese Erkenntnis gewinnt sowohl in der Wissenschaft wie auch in der Technik auch ständig an Boden, und es mehrten sich die von diesem Gesichtspunkt ausgehenden systematischen Untersuchungen. Das Fehlen geschlossener Darstellungen größerer Gebiete der Metallurgie (außer seltenen Ausnahmen) auf physikalisch-chemischer Grundlage bildet deshalb eine schon lange empfundene Lücke, die das vorliegende Buch, soweit es bei seinem geringeren Umfange möglich ist, ausfüllt.

Gemäß seinem Grundcharakter enthält das Buch nur die notwendigsten technischen Angaben über Konstruktionen usw., während die Behandlung der prinzipiellen chemischen Seite überall die Hauptsache ist. Die physikalisch-chemischen Gesichtspunkte sind überall schlicht und klar herausgearbeitet und erfreuen durch ihre Korrektheit, die zwar bei einem Physiko-Chemiker selbstverständlich ist, die man aber auf diesem Gebiete, sobald ein Metallurg physikalisch-chemische Betrachtungen anstellt, nur allzu oft vermissen muß. Dank der konsequenten Hervorhebung der prinzipiellen Gesichtspunkte liest sich das Buch sehr angenehm.

Der Verfasser sucht seinen Leserkreis in erster Linie unter den Studierenden der mit der Technik in

Beziehung stehenden Wissenschaften, für die sein Buch eine bisher fehlende Möglichkeit bietet, sich ohne technischen Ballast über die wichtigsten prinzipiellen Fragen der Metallurgie unterrichten zu können. Der Metallurg vom Fach wird, was das Tatsächliche betrifft, in dem Buch natürlich nichts Neues finden, und auch der Studierende der Metallurgie wird zu ausführlicheren Lehrbüchern greifen müssen; aber für beide wird das Studium des Buches von Interesse und von Nutzen sein, gerade, weil es das bringt, was bei der Vertiefung in technische Einzelheiten so oft verloren geht, den freien und unvoreingenommenen Blick auf das Gesamte.

G. Masing, Berlin.

**Lerthes, P., Die drahtlose Telegraphie und Telephonie.**

Dresden, Theodor Steinkopff, 1922. XI, 152 S. und 45 Abbildungen. 15 × 21½ cm. Preis geh. M. 32,—.

Es ist der 4. Band der Serie „Wissenschaftlicher Forschungs-Berichte“, herausgegeben von Liesegang. Der Zweck des Buches ist, für Studierende und physikalisch oder technisch gebildete Kreise, die sich mit der drahtlosen Nachrichtenübermittlung aus Interesse beschäftigen, ein Bild zu geben über den Werdegang der drahtlosen Telegraphie und Telephonie während des Krieges und über ihren Stand in der Gegenwart. Dies in 150 Seiten zu erreichen, wo noch dazu sehr viel Seiten mit Literaturzusammenstellungen ausgefüllt sind, ist schwierig; es konnte alles dementsprechend nur oberflächlich gebracht werden und vieles ist nicht immer ganz klar. Von Wert selbst für den Fachmann erscheint das am Ende jedes Kapitels angefügte Literaturverzeichnis, in welchem alle wichtigen neueren Arbeiten des In- und Auslandes enthalten sind; hier ist ebenso wie im Text nicht mehr alles Veraltete mitgeschleppt. Dadurch, daß das Buch ganz auf den Veröffentlichungen in der Literatur basiert, ist das Bild der Entwicklung der drahtlosen Technik stark verzerrt; es werden unendliche Mengen von Autoren zitiert, die wohl unmittelbar nach Kriegsschluß Aufsätze geschrieben haben, deren Aufsätze aber im allgemeinen nur als Berichte über den damaligen Stand der Technik aufzufassen sind, da die betr. Herren zur Entwicklung der Technik nichts oder nur sehr wenig beigetragen haben; die ganz fabelhafte Entwicklung der drahtlosen Technik in den Kriegsjahren ist ja fast ausschließlich in den Laboratorien der Firmen gemacht worden; diese mußten sich natürlich mit den Veröffentlichungen ihrer Arbeiten meist etwas zurückhalten und meist früher die auf Grund ihrer intensiven Arbeit entwickelten Apparate und Anordnungen herausgeben.

A. Meißner, Berlin.

**Fuchs, L., Grundriß der Funkentelegraphie in gemeinverständlicher Darstellung.** 12. Auflage. München-Berlin, R. Oldenbourg, 1922. 94 S. und 160 Abbildungen. 16 × 23½ cm. Preis M. 40,—.

Entstanden aus Demonstrationsvorträgen für Offiziere und Mannschaften der Funker- und Telegraphentruppen, bringt das Heft in 100 Seiten die ganze Funkentelegraphie und dazu noch die allgemeinen Grundlehren der Gleich- und Wechselstromtechnik. Der Zweck des Buches ist, zu den Apparaten, die der Soldat und Laie in die Hand bekommt und arbeiten sieht, eine kurze Erklärung zu geben und in ihm eine Vorstellung zu erwecken, was in den Apparaten wirkt und was das Wesentliche der Wirkung ist. Der Vorzug des Buches ist hier die Kürze. Auf nichts Nebensächliches wird eingegangen. Dadurch, daß einfache Schaltkizzen und



Bilder sowie die hauptsächlichsten Grundbeziehungen zwischen den verschiedenen elektrischen Größen immer am Rande jeder Seite angebracht sind, ist ein ungemein übersichtlicher Wegweiser durch das ganze drahtlose Gebiet gegeben, wie ihn gerade der Laie braucht, um nicht überwältigt zu werden durch die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen auf diesem Gebiete. Man merkt dem Buche an, daß es aus dem deutschen Museum in München, dieser ausgezeichneten Schule für populäre Darstellung hervorgegangen ist. *A. Meißner, Berlin.*

**Krais, Paul, Werkstoffe.** Handwörterbuch der technischen Waren und ihrer Bestandteile. Zweiter Band, G—R, 784 S., und dritter Band, S—Z, 728 S. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1921. Preis des gesamten Werkes geh. M. 450,—; geb. M. 540,—.

Über den ersten Band dieses Werkes ist in dieser Zeitschrift (Naturwissenschaften 10, S. 160, 1922) bereits berichtet worden. Inzwischen hat der Berichterstatter in eigenem ständigen Gebrauch den Wert des Handwörterbuchs von *Krais* kennen gelernt und kann das dort ausgesprochene Urteil nur bestätigen. Es bringt ein reiches Material bei verhältnismäßig nicht großem Umfang in übersichtlicher und angenehmer Gliederung.

Die Namen der Verfasser der einzelnen Kapitel zeigen, daß es dem Herausgeber gelungen ist, für sein Handwörterbuch erste Kräfte zu gewinnen. Manche Abschnitte, wie z. B. der über Ozon, zeigen jedoch, daß der Verfasser kein Fachmann auf dem betreffenden Spezialgebiete ist und weisen auch in den Literaturangaben auffallende Lücken auf. Bei der weiteren Ausgestaltung des Werkes muß deshalb das Bestreben des Herausgebers dahin gehen, die Zahl der Mitarbeiter zu vermehren und die Beteiligung jedes einzelnen auf sein eigenes Gebiet zu beschränken. Auch sind dem Berichterstatter einige Lücken aufgefallen; so konnte er keine Angaben über Kalkstickstoff, einem Werkstoff von gewiß großer Bedeutung, finden.

*G. Masing, Berlin.*

## Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

Am 17. Juli hielt Professor Dr. *Bruno Adler* aus Kasan-Moskau einen Vortrag über **die neue Gebiets-einteilung der russischen Republik.**

Der Weltkrieg mit der Abbröckelung von Polen, Finnland, Estland, Lettland, Litauen, Bessarabien und Sachalin ergab eine Neugestaltung der Staatsgrenzen der Republik. Die von der deutschen Besatzung zuerst praktisch durchgeführte Trennung des groß- und kleinrussischen Gebietes in Sowjetrußland und die Ukraine, die nationale Bewegung unter den Weißrussen wurde von der russischen Revolution weiter ausgearbeitet. Das Selbstbestimmungsrecht, das proklamiert wurde, hatte die Schaffung von 27 einzelnen föderativen Republiken und autonomen Gebieten in Rußland zur Folge. Zur Zeit, bevor die Bolschewiken die Macht in ihre Hände bekamen, wurden die Vorarbeiten zur neuen Gebiets-einteilung gemacht; es wurde ethnographisches, statistisches und wirtschaftliches Material gesammelt, doch hatte die Regierung von Kerensky noch viele andere Fragen — vor allem die Agrarfrage — zu bedenken, um an die Schaffung eines föderativen Staates zu schreiben, zumal der Weltkrieg für Rußland noch immer fort dauerte.

Als die Bolschewiken die Regierung von Kerensky zum Sturz gebracht hatten und sie die Hilfe der ver-

schiedenen nationalen Gruppen im Bürgerkriege brauchten, begannen sie sofort mit der Schaffung der autonomen föderativen Republiken. Als leitendes Prinzip war die Lösung der verwickelten nationalen Frage in Rußland. Zugleich wurden wirtschaftliche Momente in Erwägung gezogen. Die rein geographischen Seiten der Angelegenheit blieben leider wenig durchgearbeitet. Ein jedes Volk, das ein mehr oder weniger einheitliches Gebilde darstellte und ein eigenes Gebiet hatte, bekam dasselbe, und zwar so groß, um sich wirtschaftlich selbständig behaupten zu können. Die Lösung der Frage war in Rußland natürlich nicht leicht, da das flache Land mit der enormen Fähigkeit der Russen, alles zu russifizieren, nicht mehr rein nationale Gemeinschaften unter den Völkern Rußlands aufzuweisen hatte. Die herrschende russische Nation gab ohne besonderen Kampf ihre Stellung in den Mischgebieten auf.

So bekamen zuerst die Tataren und dann die Baschkiren ihre Republiken. Es wurde viel darüber gestritten, ob es zwei oder eine große Tataro-baschkirische Republik werden sollte, doch endlich bekamen beide Völker ihre eigenen Staaten. Die türkischen Stämme Rußlands schwärmten dabei von der Schaffung eines großen türkischen Gebietes von Kasan an bis Afghanistan, wobei das Gebiet in das sogenannte Tataristan, Baschkurdistan, Kirgistan und Turkistan zerfallen sollte. Doch schließlich wurden die Kirgisen und die Turkistanrepubliken geschaffen. Auf Turkistan legte die russische Regierung einen besonderen Wert, weil von dort aus die bolschewistische Propaganda nach Afghanistan und weiter nach Asien geleitet werden sollte.

Nach den Tataren bekamen die Tschuwaschen mit dem Hauptsitz in Tschebokssary an der Wolga ihr sogenanntes „autonomes Gebiet“. Dann kam das Gebiet der Mari (früher unter dem Namen Tscheremissen bekannt) mit der Hauptstadt Kosmodemjansk an der Wolga. Weiter die Wotjaken mit dem Sitz in Ischewsk, die Komi (Syrjanen und Permjakten) mit der Stadt Ustj-Syssolsk. Diese finnischen Volksstämme, die immer in politischer und nationaler Hinsicht den Türken Rußlands nachstanden, bekamen nur sogenannte „autonome Gebiete“, nicht die sogenannten „föderativen Räterepubliken“. Die Westfinnen an der Grenze von dem Gouvernement Petersburg — die Korelen — erhielten nur eine sogenannte Arbeiterkommune mit der Hauptstadt Petrosawodsk. Der große finnische Volksstamm der Mordwinen bildete keinen Staat für sich, weil die 1 500 000 Mordwinen in ganz Rußland verstreut wohnen und auch fast ganz verübt sind. Die Kalmüken an der unteren Wolga bekamen ebenfalls ihre eigene Republik. Die deutschen Kolonisten an der mittleren Wolga, von den sozialistisch angehauchten Dorflehrern und von gewesenen Soldaten, die an der Front mit der kommunistischen Propaganda vertraut waren, angestachelt, bildeten die sogenannte „Njemkommune“, d. h. die „deutsche Arbeiterkommune an der mittleren Wolga“. Es waren ihnen die Teile der Gouvernements Saratow und Samara zugeteilt. Die Hauptstadt wurde das gewesene Ekaterinstadt (später Baronsk), das den Namen von Carl Marx erhielt und nun als Marxstadt bekannt ist. Endlich nach der Beilegung des Bürgerkriegs in der Krim erhielt die Taurische Halbinsel ihre Republik. So war die Peripherie des europäischen Rußlands neu geordnet. Als Nachlaß der deutschen Herrschaft in Rußland sollte die Frage über die Ukraine und Weißrußland gelöst werden.



Nach dem Rückzug der Deutschen kam die Ukraine in die Hände der Bolschewiken, doch bald darauf tauchte ein General nach dem andern auf, von der Entente unterstützt, und das Land ging aus einer Hand in die andere. Das dauerte fast  $1\frac{1}{2}$  Jahre, bis der russisch-polnische Krieg mit dem Frieden in Riga die Herrschaft der Bolschewiken in der Ukraine entschied. Es wurde die sogenannte Ukrainische Sowjetrepublik mit dem Sitz in Charkow gebildet. Die Hauptstadt soll nun nach Kiew verlegt werden. Die Ukrainische Republik zerfällt zurzeit in folgende Gouvernements: Wolhynien, Donez (das reiche Kohlengebiet von Südrußland), Ekaterinoslaw, das Saporoger Gouvernement (Teile des gewesenen Gouvernements Ekaterinoslaw und Taurien), Kiew, Kremenchug (neu geschaffen), Odessa (neu geschaffen), Podolien, Poltawa, Charkow, Cherson und Tschernigow. Es ist die einzige Republik Rußlands, die auch das Recht hat, ihre Vertretung im Auslande zu haben. Die Weißrussische Republik war im Anfang sehr groß gedacht, doch da die Mehrzahl der Weißrussen an Polen kam, behielt die Bjelorrussische Sowjetrepublik (die weißrussische Sowjetrepublik) nur den östlichen Teil des Gouvernements Minsk mit der gleichnamigen Stadt als Hauptzentrum.

Die eigentliche russische Sowjetrepublik (R. S. F. S. R., d. h. die Russische Sozialistische Föderative Sowjetrepublik), in der die Mehrzahl Großrussen wohnt, zerfiel in eine Anzahl Gouvernements, wobei eine ganze Menge neuer administrativer Einheiten geschaffen wurde. Damit bezweckte man eine leichtere Verwaltung des enormen Gebietes, auch wollte man eine Dezentralisation schaffen. Es wurden dabei ganz unlebensfähige und vorübergehende Gebilde geschaffen, die nur dadurch entstanden, weil die Machthaber an einigen Orten, die ganz unbedeutend waren, ihre starke Protektion im Zentrum hatten. So z. B. bekamen Murmansk, Brjansk usw. ein Gouvernementsgebiet, obschon die Städte oft mehr Dörfern ähnelten. In dieser Zeit wurden die neuen Gouvernements und Gebiete geschaffen: Brjansk, Gomel, Ekaterinburg, Iwanowo-Wosnesensk, Murmansk, Nowo-Nikolajewsk, Omsk, Rybinsk, Nord-Dwina, Tjumen, Zarizyn, Tscheljabinsk, Tscherepovez, die oben erwähnten Republiken und Kommunen, die Kirgisenrepublik mit sieben Gouvernements und die Turkistanrepublik mit sechs Gouvernements. Indem sich dieses neue Gebilde entwickelte, geschah es nicht ohne nationale Reibungen. So z. B. entspann sich ein heftiger Kampf zwischen den Russen und Tschuwaschen, lange konnten die letzteren sich nicht mit ihren Nachbarn, den Tscheremissen, mit denen sie Jahrtausende friedlich zusammengewohnt hatten, verständigen. Doch allmählich kommt die richtige Verständigung zwischen diesen Völkern.

Das übrige Rußland, abgesehen vom Fernen Osten, der noch nicht zur Ruhe gelangt ist, ist zu einer großrussischen Sowjetrepublik zusammengeschmolzen. In Sibirien entstanden die Republik des Fernen Ostens mit der Hauptstadt in Tschita, das autonome Gebiet von Jakutsk, die Mongolische Sowjetrepublik mit dem Sitz in Urga, die Republik Chiwa und Bucharä. Der Kaukasus zerfällt nun in die Gebiete: das autonome Gebiet von Kabarda, Nachitschewan, die Republiken Gory, Abchasien, Grusien, Dagestan, Aserbeidschan und Armenien.

Somit sehen wir in Rußland entweder die sogenannten sowjet- (Räte-) sozialistischen (S. S. R.) Republiken oder die sogenannten autonomen sozialisti-

schen Gebiete (A. S. O.) oder endlich die Arbeiterkommunen (R. C.). Diese größeren Gebiete und Gouvernements werden in Kreise oder Kantone (der neue Name für die Kreise) geteilt. Die Kreise zerfallen in Wolstj (ungefähr eine deutsche Gemeinde). Die Zahl der Kreise und Gemeinden ist in der letzten Zeit ungeheuer angeschwollen. So hat das Sowjetrußland (ohne die föderativen Republiken) 8169 Gemeinden, in Sibirien sind es 1040, in den föderativen Republiken (ohne Njemkommune) 2591. In der gesamten Republik sind es 118 000 Gemeinden, in der Ukraine 1976 und in Weißrußland 115 Gemeinden. Der Prozeß der Kristallisierung des Landes in den neuen Verhältnissen und in den neuen Grenzen dauert noch fort. Ein jedes Gebiet erhielt vor allem das Selbstbestimmungsrecht, das sich in der Kirche und Schule äußerte. Allmählich geht der administrative Apparat zu den nationalen Gruppen über, ebenfalls der lokale Handel. Das Heer, das Finanzwesen, der Staatshandel, Wegebau und Konzessionen auf Bodenschätze blieben in der Hand der zentralen Regierung. Der Unterschied zwischen R. S. F. S. R., S. S. R., S. A. O., R. K. ist ein geringer. Eine jede Republik hat ihre Vertretung in Moskau, wogegen die anderen Gebiete nur einen administrativen Apparat in dem Kommissariat für die sogenannten „nationalen Minderheiten“ besitzen („Nazmen“).

Das ganze System ist noch wenig ausgearbeitet, doch auch jetzt sieht man, daß Rußland den richtigen Weg betreten hat. Die Herabsetzung, ein Sinken der russischen Kultur ist hierbei nicht zu befürchten, denn obschon viele Völker, wie z. B. die Jakuten, Kirgisen, natürlich noch halb wild sind und ihre Republiken ohne besonderes Recht erhalten haben, so sehen wir doch, daß durch die nationale Erkenntnis bei vielen Völkern die große innere Kulturarbeit begonnen hat. Dieses wird natürlich das allgemeine Niveau der Kultur heben, obschon zurzeit die eigentliche Kultur etwas gesunken ist. Wir sehen z. B., daß fast ein jedes Gebiet und ein jedes Land seine geographische und ethnographische Beschreibung bekommt, die klassischen Werke werden in die Muttersprache übersetzt, es entstehen Zeitungen in eigener Sprache, Theater, Klubs usw. Die zentrale Regierung in Moskau sieht diesem Prozeß sehr wohlwollend entgegen, da sie das Heer und die Finanzen in ihrer Hand hat und nichts zu fürchten braucht. Das Ideal, das den Machthabern in Rußland vorschwebt, ist die Schaffung einer Föderation nach dem amerikanischen Muster, auch die Bundesstaatsverwaltung in Deutschland soll neuerdings als Vorbild dienen. Vieles wird sich im Laufe der Zeit ändern, doch die Idee einer angebauten Einteilung des russischen Gebietes wird bleiben. — An eine sogenannte „natürliche Rayonierung“ (Gebietseinteilung), die auf einer geographischen Grundlage aufgebaut wäre, hat man in der bewegten Zeit der Revolution nicht gedacht. Erst nach und nach spricht hier der Geograph ein gewichtiges Wort. Ein Teil der Sachkundigen dringt auf das Prinzip hin, daß das Reich nach rein wirtschaftlichen Gebieten eingeteilt werden soll; die Anderen behaupten, daß auch bei der Schaffung der „natürlichen Gebiete“ man an die historischen Zentren denken müsse, die sich im Laufe der Zeit als lebensfähig bewiesen haben. Zu solchen Städten müssen vor allem die Gouvernementsstädte gerechnet werden.

In der neuesten Zeit, wo in der Politik der Sowjetregierung ein Umschwung zu verzeichnen ist, wo man anfängt zu sparen, indem man früher nur das Geld



freigebig und planlos verstreut hat, sehen wir auch in der Einteilung des russischen Gebietes eine große Änderung. Es wird in Aussicht genommen, um an der Verwaltung zu sparen, die Zahl der Gouvernements und Kreise zu vermindern. Prof. *Alexandroff* hat dem Höheren Rate sein Projekt vorgelegt, nach dem die Zahl der 75 Gouvernements (Zur Zarenzeit 52 Gouvernements) auf bloß 12 Gebiete vermindert werden soll. Diese Grundeinteilung soll auf der wirtschaftlichen Basis aufgebaut werden. Prof. *Poplawsky* hat inzwischen statistisches Material dazu geschaffen, um zu sehen, ob ein jedes Gebiet auch sich selbständig in der Zukunft behaupten kann. Das Projekt soll erst im Laufe von 1—1½ Jahren durchgeführt werden. Das Projekt wurde in der ersten Lesung angenommen und wartet auf weitere Sanktionen. Nach dem Projekt behält die Zentralgewalt die auswärtige Politik, das Heer und die Flotte, Zoll, Finanzen, Eisenbahnen und Wasserwege, Post und Telegraph, große Staatsunternehmen, das Verteilen des unbesiedelten Bodens, das Meliorationswesen, Mineralschätze, Konzessionen auf Kronswälder, die allgemeine Gesetzgebung und den Außenhandel, — das übrige, was einen lokalen Charakter hat, bleibt unter der Leitung der Ortsbehörden.

Die in Aussicht genommenen Gebiete wären: 1. NW-Gebiet, 2. NO-Gebiet, 3. W-Gebiet, 4. das zentrale Industriegebiet, 5. Gebiet Wjatka-Wetluga, 6. das Gebiet der Mittleren Wolga, 7. Uralgebiet, 8. das Zentrale Schwarzerdegebiet, 9. SW-Gebiet, 10. das südliche Bergwerksgebiet, 11. SO-Gebiet, 12. der Kaukasus. Das Asiatische Rußland soll in die Gebiete von, 1. W-Sibirien, 2. Kusnezsk-Altais, 3. Jenissej, 4. Lena-Angara, 5. Jakutsk, 6. die Republik des Fernen Ostens, 7. W.-Kirgisienland, 8. Ost-Kirgisienland, 9. Turkestan aufgeteilt werden. Jedes Gebiet zerfällt in acht Kreise, die etwas kleiner als die jetzigen Gouvernements werden. Die Bezirke zerfallen in Gemeinden. Die Verwaltung soll durch die Sowjets geschehen, die ihre Abgeordneten nach Moskau abkommandieren. Das Projekt ist noch nicht endgültig. Es hat vieles für sich, weil hier die rein geographischen Seiten in den Vordergrund gestellt sind. Auch ist der Ethnographie und der Volkswirtschaft Rechenschaft getragen, doch denken wir, daß die Einteilung eines so enorm großen Landes wie Rußland geographisch zu schematisch gemacht worden ist. Wir denken, daß die Teilung von Rußland in 21 natürliche geographisch-ethnographische Gebiete, die in der Geographie allgemein anerkannt ist, viel mehr verspricht. Nämlich 1. Nordland, 2. Seengebiet, 3. Baltikum, 4. Weißrußland-Littauen, 5. Polen, 6. Weichselland, 7. Uralgebiet, 8. Obere Wolga, 9. Mittlere Wolga, 10. Untere Wolga, 11. das Zentrale Industriegebiet, 12. Schwarzerdegebiet, 13. Ukraine, 14. S. Russ. Steppengebiet, 15. Krim, 16. Kaukasus, 17. Turkestan, 18. Ost-Sibirien, 19. West-Sibirien, 20. Küstengebiet.

Wir hoffen, daß bei der Neueinteilung des Landes wir auch den Geographen an der richtigen Stelle sehen werden und denken, daß nur dann auch das große Gebiet richtig beurteilt und geschätzt wird. B. A.

## Die Deutsche Geologenversammlung in Breslau 29. Juli bis 9. August 1922.

Die Frage nach der geologischen Stellung der Tiefengesteine, also besonders der großen Granitmassive, ist in der Geologie seit alter Zeit eine der wichtigsten. Ihren Beziehungen zur Gebirgsbildung, dem

Mechanismus ihrer Entstehung hat man in neuester Zeit von den verschiedensten Seiten aus beizukommen versucht. Der Fülle von Problemen suchten Chemiker, Geophysiker und Geologen nach ihrer Art gerecht zu werden, und in kurzem ist die Frage nach dem Wesen der plutonischen Gesteine eines der schwierigsten und reizvollsten Grenzgebiete in den Naturwissenschaften geworden.

Während der letzten drei Jahre hat nun das Geologische Institut Breslau unter Leitung von Herrn Professor *H. Cloos* neue, außerordentlich exakte geotektonische Untersuchungsmethoden ausgearbeitet, mit deren Hilfe es gelungen ist, von allen schlesischen und einer Reihe weiterer deutscher Granitgebiete den Vorgang ihrer Entstehung, ihre Beeinflussung durch einen gerichteten gebirgsbildenden Druck und ihr Verhältnis zur Gebirgsbildung ihrer Umgebung eindeutig festzulegen. So ist es verständlich, wenn der diesjährigen Einladung der Deutschen Geologischen Gesellschaft nach Breslau eine überraschend große Zahl in- und ausländischer Gelehrter folgten, um in mündlicher Aussprache und achttägigen Exkursionen durch das schlesische Gebirge hauptsächlich jene Erscheinungen des Grundgebirges zu studieren.

Zahlreiche Vorträge waren während der drei Sitzungstage diesem Thema gewidmet. Prof. *E. Kaiser* (München) und Dr. *Reuning* (Gießen) berichteten ausführlich über die großen Granitgebiete im früheren Deutsch-Südwest. An einer Stelle ist ein interessanter Vorgang im Magma zu beobachten. Ein basischer Granit hat mit der Hauptmasse seines Gesteins alte Sedimente durchbrochen, und der eigentliche Intrusionsvorgang ist zu Ende. Da bricht als Rest der Schmelze noch ein Granitgang in die sedimentäre Decke. Hier stößt er auf alte Kalke und Dolomite; durch die hohe Temperatur der Silikatschmelze wird Kohlensäure in großer Menge frei, teilt sich dem Granit mit und verleiht ihm gewissermaßen neue Lebenskraft. Als breiter Lagergang streicht er weiterhin durch die Dolomite, sendet eine Unzahl großer Apophysen (Seitenausläufer) nach allen Richtungen ins Gestein und hört mit Austritt aus dem kohlen-säurereichen Gestein sogleich auf. Welch lebhafter chemischer Austausch hierbei stattgefunden hat, zeigen eine Menge Mischgesteine im Bereiche jener alten Kalke. — In der Diskussion wurde eine Reihe ähnlicher Beobachtungen zur Sprache gebracht.

Prof. *Erdmannsdörffer* (Hannover) berichtete über neue Untersuchungen über das Alter der Harzer Erzgänge. Lange Zeit hindurch gingen die Ansichten stark auseinander; während die einen sie für paläozoisch hielten, wollten die anderen sie mit der jüngeren tertiären Gebirgsbildung in Zusammenhang bringen. Nun ist nach seinen Beobachtungen die Wahrscheinlichkeit groß, daß sie in enger Zusammengehörigkeit mit dem Brockengranit stehen, so daß ihr paläozoisches Alter gesichert sein dürfte.

Prof. *Stille* (Göttingen) sprach über das zeitliche Verhältnis epirogenetischer und orogenetischer Phasen der Erdgeschichte und glaubt den letzteren ein häufigeres Auftreten einräumen zu müssen, als er bisher angenommen hatte. Diese Anschauung erläuterte er speziell an der Tektonik einiger norddeutscher Salzgebirge.

Dr. *Schwinner* (Graz) brachte neue geophysikalische Anregungen zur Gebirgsbildung. Er hält die Säume der Kontinente für Zonen, in denen die verschieden intensive Abkühlung der tieferen Erdschichten durch Land und Ozean so erhebliche Temperaturunterschiede



in größerer Tiefe erzeugen kann, daß, wenn diese Gegensätze ein gewisses Maximum erreicht haben, eine Strömung des Magmas beginnt, die ihrerseits sich in Gebirgsbildung umsetzen kann.

Prof. *Milch* (Breslau) sprach über petrographische Provinzen. Nach einem historischen Überblick über den Wandel der Ansichten hierüber kam er zur Anschauung, daß die Sueßsche Hypothese des spezifisch leichten salischen Magmas über einem simatischen, spezifisch schwereren der Wirklichkeit nicht gerecht wird, daß wir vielmehr einen komplizierten schlierigen Zonenverband annehmen müssen, in dem Magmen beider Natur ineinander eingreifen.

Seine Beobachtungen im Schwarzwald und Odenwald trug *S. v. Bubnoff* (Breslau) zu einem neuen Bilde vom Untergrund der Geosynklinale zusammen. Diesen Zonen der Erdhaut, wo wir durch geologische Perioden hindurch erhebliche Senkungen aufgezeichnet finden, werden umrahmt von einem Saum schwerer basischer Tiefengesteine. Das chemisch gleiche Magma liefert die große Menge der Diabase. Weiter entfernt hingegen stellen sich Gneis, Granit und regionalmetamorphe Sedimente ein. Hieraus schloß er auf die Anwesenheit eines basischen Magmas der Geosynklinale im Untergrund, während weiter ab die sauren Schmelzen herrschen.

Den Gneis des Isergebirges, die schlesischen Grünsteinzonen, Karbon und Rotliegendes des nordöstlichen Böhmens behandelten Vorträge von *G. Berg*, *E. Bederke* und *W. Petrascheck*.

Geheimrat *Beyschlag* (Berlin) legte die in der Preuß. Geologischen Landesanstalt entstehende *geologische Erdkarte 1 : 15 Mill.* vor und erläuterte die Methoden ihrer Ausführung.

Ein neues bauwürdiges Eisenerz glaubt Geheimrat *Krusch* (Berlin) im westdeutschen Diluvium aufgefunden zu haben. Inmitten von Moorflächen, die von Talsanden unterlagert werden, kommt es nicht selten zu Absätzen eines weißen Tones, der in erheblicher Menge kohlenensaures Eisenoxydul führt; es sind noch technische Schwierigkeiten zu beseitigen, aber möglicherweise läßt sich das Erz doch in großem Maße verwenden.

Geheimrat *Pompeckj* (Berlin) gab einen interessanten Beitrag zur Petrogenese und Klimatologie der jurassischen Ton- und Kalkablagerungen. Aus Untersuchungen eines seiner Schüler ergibt sich, daß Flüsse während reichlicher Niederschläge im Verhältnis zur Menge chemisch gelöster Stoffe viel mehr tonige, suspendierte Substanzen führen als bei regenarmen Zeiten. Infolgedessen würde einer tonigen Ablagerung ein relativ niederschlagreiches Klima, einer Kalkablagerung ein relativ regenarmes Klima entsprechen.

Prof. *Samojloff* (Moskau) machte einen Versuch, die Herkunft von Barium-, Strontium-, Kupfer-, Vanadium- und ähnlichen bisher kaum erklärbaren Salzen in russischen mesozoischen Sedimenten zu beantworten. Er hält es für möglich, daß damals Skeletteile und Blutkörperchen der Meeresfauna in höherem Maße als gegenwärtig solche Salze enthielten.

An den Nachmittagen der drei Sitzungstage führte Herr Prof. *Cloos* die Gäste zu den Ausgangspunkten seiner granittektonischen Untersuchungen, in die Granitbrüche von Strehlen und Ströbel. Hier wurde an Hand von Spezialkärtchen Struktur und räumliche Gestalt der Massive erläutert, die sich als großartige Gewölbe erweisen, entstanden unter einem genau festgelegten tektonischen Druck, der sich in einer linearen Streckung der Mineralien, gerichteter Ganganordnung

und Klüftung des Gesteins geltend macht. Seine sorgfältigen, bis ins Letzte gehenden Untersuchungen fanden allgemeine Beistimmung.

Die folgenden sieben Exkursionstage zeigten der Versammlung die wesentlichen Strukturen und tektonischen Einheiten der Sudeten: Die N-S-Zone, bestehend aus vier basischen Intrusivgesteinen, der die Nickellagerstätte Frankenstein ihre Entstehung verdankt, den Sudetenrand, dessen paläozoisches Alter neue Untersuchungen in der Arsen- und Goldlagerstätte Reichenstein erwiesen haben. Den tertiären Neißegraben lernten die Gäste bei Langenau und am Roten Berg bei Glatz kennen. Die Innersudetische Mulde querte eine Exkursion von Silberberg nach Neu-*rode*. Ins Boberkatzbachgebirge führten Geheimrat *Zimmermann* und *Kühn*, Bergrat *Berg* ins Riesens- und Isergebirge, die Eulengneise zeigte Prof. *L. Finckh*. Stratigraphischen Interessen kam eine Exkursion ins Freiburger und Glatzer Devon unter Führung von Dr. *E. Bederke* entgegen. Von Görlitz aus dienten die letzten beiden Exkursionstage dem Studium des größten deutschen Granitgebiets, des Lausitzer Massivs. Unter Führung von Prof. *Cloos* und Dr. *Stenzel* wurden die Königshainer Berge und die Aufschlüsse bei Demitz-Thumitz begangen. Die Anordnung der basischen Gänge, die Klüftung und Streckung des Granits läßt erkennen, daß im westlichen Teil des Massivs ein SO-NW-Druck gewirkt hat, im Osten dagegen ein SW-NO-Druck, in der Mitte hat der Druck meridional gewirkt.

Die Einquartierung einer so erheblichen Teilnehmerzahl — über 200 Gäste — erfordert große Mühe. Daß es gleichwohl möglich war, einer großen Anzahl von ihnen Freiquartiere in Breslau, Frankenstein, Hirschberg und Görlitz zu beschaffen, ist dem ganz ungewöhnlich großen Verständnis der schlesischen Städte gegenüber der Wissenschaft zu danken. Ebenso großartiges Entgegenkommen bewiesen die verschiedensten Zweige der schlesischen Industrie durch reichliche Geldspenden und liebenswürdigste Gastlichkeit bei der Besichtigung von Steinbrüchen und Bergwerken. Dieses vortreffliche Zusammenarbeiten von Bürgerschaft, Industrie und Wissenschaft ist ein Hauptgrund, weshalb der schlesischen Tagung solch glänzender Erfolg beschieden war! — Die nächste Tagung findet in Regensburg und München statt.

R. B.

## Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

**Seigerungserscheinungen bei Legierungen.** Manche Legierungen zeigen die Eigentümlichkeit, sich bei der Erstarrung teilweise zu *entmischen*. Diese seit langem bekannte Erscheinung wird als Seigerung bezeichnet und ist in der Gießereipraxis oft sehr störend. Trotzdem dieselbe seit sehr langer Zeit bekannt ist, bietet sie noch manches Überraschende und Unerklärte, wie eine ausführliche experimentelle Untersuchung von *O. Bauer* und *N. Arndt* (Zeitschrift für Metallkunde 13, 497; 559, 1921) zeigt.

Die Seigerung, die allgemein die Folge einer Differenz in der Zusammensetzung der Schmelze und der sich ausscheidenden Kristalle ist, tritt in zwei charakteristisch abgegrenzten Erscheinungsformen auf, je nachdem, ob Mischkristallbildung vorliegt oder nicht, ob also — im Grenzfall — die betreffende Legierung im Gleichgewichtszustande aus einem Gemenge zweier (oder mehrerer für den Fall von Systemen aus 3 Kom-

ponenten und mehr) Kristallarten von unveränderlicher Zusammensetzung besteht, oder aus einer Kristallart — den homogenen Mischkristallen. Der wesentliche Unterschied zwischen diesen beiden Legierungsgattungen besteht darin, daß, während im ersten Falle die Zusammensetzung der ausgeschiedenen Kristalle vom Anfang der Ausscheidung an unveränderlich ist, im zweiten Falle eine Änderung der Zusammensetzung durch Diffusion im festen Zustande möglich ist.

Der Vorgang der Erstarrung sei für den ersten Fall kurz an der Hand eines Zustandsdiagrammes (Fig. 1, Blei-Antimon-Legierungen) erörtert, und zwar für den Fall einer Legierung mit 80 % Blei, wie sie oft für Letternmetall benutzt wird. Oberhalb der Linie *cde*

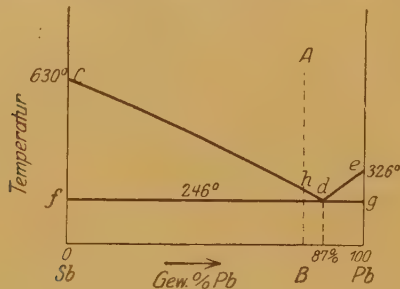


Fig. 1.

sind die Legierungen flüssig. Die Legierung mit 80 % Blei durchläuft bei der Abkühlung abwärts die Linie *AB*. Sobald die Temperatur des Punktes *h* erreicht ist, beginnt die Ausscheidung der Antimonkristalle, während die Schmelze sich an Blei anreichert und die Zustände der Linie *hd* entlang durchläuft. Nach Erreichung des Punktes *d* erstarrt die Restschmelze als eutektisches Gemenge von feinen Antimon- und Bleilamellen.

Das spezifische Gewicht des Antimons ist sehr erheblich geringer als das des Bleis und der Schmelze mit 80 % Blei. Deshalb steigen die sich ausscheidenden Antimonkristalle an die Oberfläche der Schmelze, wo sich das Antimon anreichert, während im unteren Teil unter geeigneten Bedingungen eine Restschmelze von der eutektischen Zusammensetzung *d* übrigbleibt. In diesem Falle ist die Seigerung eine Folge von Unterschieden des spezifischen Gewichtes der Komponenten.

In der Praxis wird der Seigerung in der Weise entgegengewirkt, daß durch schnelle Abkühlung eine so schnelle Erstarrung der Legierung erzwungen wird, daß die Antimonkristalle keine Zeit haben, sich an die Oberfläche zu begeben.

Wesentlich anders verläuft die Erstarrung, wenn die Legierung aus homogenen Mischkristallen besteht (Fig. 2). Oberhalb der Linie *MCFN* sind die Legierungen flüssig, unterhalb der Linie *MEDN* fest. Eine Legierung mit gleichen Anteilen von *A* und von *B* durchläuft bei der Abkühlung die Linie *KC*. Bei Erreichung des Punktes *C* scheiden sich Mischkristalle *E* aus, die mehr von der höher schmelzenden Komponente enthalten als die Schmelze. Bei der weiteren Erstarrung durchläuft die Schmelze die Kurve *CF*, während die Zusammensetzung der sich ausscheidenden Kristalle zugleich längs *ED* fortschreitet. Zwischen den zuerst ausgeschiedenen Kristallen *E* und den später entstehenden *B*-reicheren Kristallschichten findet eine Diffusion im Kristallzustande statt, so daß im Idealfall zuletzt, wenn die Schmelze die Zusammensetzung

*F* erreicht hat, die gesamten ausgeschiedenen Kristalle die Zusammensetzung *D* erreichen. Die Erstarrung ist dann abgeschlossen.

Bei langsamer Abkühlung derartiger Legierungen findet erfahrungsgemäß keine Seigerung statt. Wenn man sich fragt, warum hier nicht ähnliche Erscheinungen auftreten wie bei heterogenen Gemengen (Fig. 1), so ist auf zwei Umstände hinzuweisen. Die Unterschiede in der Zusammensetzung zwischen Schmelze und Kristall sind im zweiten Fall lange nicht so groß, wie im ersten, und dementsprechend auch die Unterschiede im spezifischen Gewicht geringer. Ferner wird durch die Diffusion, wie oben erwähnt, die Zusammensetzung der Kristalle ausgeglichen.

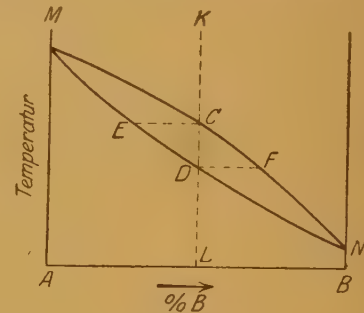


Fig. 2.

Dagegen zeigt sich bei diesen Legierungen Seigerung bei schneller Abkühlung. Das Zustandekommen von Konzentrationsunterschieden in den Kristallen wird hierbei dadurch ermöglicht, daß infolge der schnellen Abkühlung die Diffusion im festen Zustande nicht nennenswert erfolgt. Man sollte nun erwarten, daß die bei schneller Abkühlung (Kokillenguß) zuerst erstarrenden Teile, die sich am Rande des Gefäßes befinden, sich der Zusammensetzung von *E* nähern, während die nach der Mitte des Gefäßes zurückgedrängte Schmelze reicher an *B* ist. Zahlreiche Beobachtungen von Bauer und Arndt zeigen jedoch, daß meistens das Umgekehrte der Fall ist. Die am Rande des Gefäßes ausgeschiedenen Kristalle sind reicher an *B* als die in der Mitte des Gußblockes befindlichen. In der folgenden Tabelle sind für einige Legierungen, deren Erstarrungsverhältnisse sich im betreffenden Konzentrationsintervall denen der Fig. 2 nähern, die Konzentrationsam Rande und in der Mitte des Gußblockes angegeben. Die zuerst genannte Komponente spielt hierbei immer die Rolle der Komponente *A* in Fig. 2, und die zuerst ausgeschiedenen (am Rande befindlichen) Kristalle sollten daher eigentlich reicher an dieser Komponente sein als die zuletzt ausgeschiedenen, in der Mitte befindlichen, während das Umgekehrte beobachtet wird.

| Metallpaar  | Gewichts-% der ersten Komponente |              |
|-------------|----------------------------------|--------------|
|             | am Rande                         | in der Mitte |
| Cu-Sn ..... | 91,69                            | 92,73        |
| Mn-Cu ..... | 71,64                            | 73,42        |
| Al-Zn ..... | 82,24                            | 83,90        |
| Al-Cu ..... | 98,52                            | 98,95        |

Die Ursachen dieser auffallenden Erscheinung sind noch nicht zufriedenstellend aufgeklärt. Sie werden sicher, wie Bauer und Arndt erwähnen, in den linearen Kristallisationsgeschwindigkeiten der sich ausscheidenden Kristalle im Zusammenhang mit der Diffusion der Metalle ineinander zu suchen sein, wobei diesen Fak-



toßen noch der dritte wesentliche Faktor der Wärmetönung bei der Kristallisation anzuschließen wäre. Eine genauere Vorstellung über die Art und Weise, wie diese Faktoren die beobachtete Erscheinung hervorrufen, haben wir noch nicht. Es muß auch erwähnt werden, daß unsere Vorstellungen über die Natur und Ursache der Seigerung bei den Mischkristallen noch recht unklar und wenig überzeugend sind. Insbesondere erscheinen die oben angeführten Gründe für die Seigerung in langsam abgekühlten Mischkristallen im Gegensatz zu Gemengen zweier Kristallarten unveränderlicher Zusammensetzung nicht als ausreichend. Es müssen noch tiefere Unterschiede in der Morphologie des Kristallisationsvorganges bestehen, die das verschiedene Verhalten beider Arten von Legierungen verursachen.

Es sei noch erwähnt, daß bei den Mischkristallen die Seigerung sich unabhängig von Dichteunterschieden entwickelt.

Masing.

**Die seismischen Verhältnisse des Europäischen Nordmeeres und seiner Umrandung.** (Tams, E., Mitteil. der geograph. Gesellsch. zu Hamburg XXXIII, 1921, S. 37—67, 1 Karte und 2 Seismogramme auf 2 Tafeln.) Mit Hilfe von Aufzeichnungen (Seismogrammen) von Erdbeben im Gebiet des Europäischen Nordmeeres (mit Instrumenten hergestellt, die meist außerhalb der genannten Region aufgestellt waren) unternimmt es der Verfasser, die geographische Verteilung der Erdbebengebiete (Epizentra) im Europäischen Nordmeer und dessen Nachbarschaft eingehend zu untersuchen. Für solche Zwecke müssen möglichst einwandfreie Aufzeichnungen mindestens dreier genügend günstig gelegenen Erdbebenwarten, die mit einwandfreien Seismographen besetzt sind, vorliegen. Solcher seismometrischer Methoden, die Epizentra mit Hilfe von Seismogramm und Rechnung festzulegen, gibt es eine ganze Reihe; im Grunde handelt es sich hierbei nur um die Auflösung des seismischen Dreiecks: Erdpol—Epizentrum—Warte, analog der Auflösung des nautischen Dreiecks: Pol—Zenit—Stern, die auch, entsprechend geändert, benutzt werden kann. Die auf Grund solcher Arbeiten erhaltenen Ergebnisse sind für geographische Zwecke genau genug, wöfern sichere Diagramme, sicher in bezug auf Einsätze und deren zeitliche Angaben, vorliegen. Das hier in Frage kommende Material an Aufzeichnungen hat der Verfasser mit großer Vorsicht geprüft. Es gibt ja eine Reihe von statistischen Sammlungen solcher Daten, denen eine kritische und liebevolle Aufmerksamkeit sehr nützlich ist. Dem Nichtfachmann wird die seismometrische Festlegung des Epizentrums noch verständlicher, wenn an die allgemeine Aufgabe erinnert wird, die etwa so gefaßt werden kann: von irgendeinem Punkt strahlt Energie aus, die auch durch Zutun des Menschen erzeugt und mit Hilfe geeigneter Geräte an verschiedenen entfernt gelegenen Punkten aufgefangen werden kann.

Der Verfasser fand aus dem seismometrischen Beobachtungsmaterial der Jahre 1904—1915 dreizehn Fälle, die zweifellos auf Beben im europäischen Nordmeer oder in seiner Umrandung hinwiesen. Außerdem war es noch möglich, durch anderweitig festgestellte Beben das Beobachtungsmaterial zu vergrößern. Aus all diesen Beobachtungen ergibt sich, daß das oben erwähnte Gebiet seismisch gar nicht so ruhig ist, wie es immer gewöhnlich angenommen wird. Ob eines der in einem besonderen Abschnitt besprochenen Teilgebiete stärker oder schwächer seismisch tätig ist als

ein anderes, läßt sich, wie Verfasser sehr richtig betont, infolge der kurzen Beobachtungsspanne noch nicht entscheiden. Von besonderem Interesse ist der Abschnitt, der die geographische Verbreitung der Erdbeben im europäischen Nordmeer vom seismogenetischen Standpunkt aus behandelt; der Verfasser geht näher auf Island und Nachbargebiete, Spitzbergen, Europäisches Nordmeer und angrenzende Meeresteile, Fennoskandien, Grönland ein. Vulkanische Vorgänge kommen nur sehr wenig in Betracht, sondern es handelt sich um „Vorgänge, mit denen, wie jedenfalls auch bei den eigentlich tektonischen Beben, Dislokationsprozesse weiteren Ausmaßes verbunden sind.“ Die in neuerer Zeit auf Grund der Aufzeichnungen der Seismographen gemachten Erfahrungen haben erkennen lassen, daß die Bodenerschütterungen, die von Vulkan- ausbrüchen herrühren, nicht sehr weit ausstrahlen und auch für empfindliche Seismographen in einiger Entfernung unbemerkt bleiben. Nach den Erfahrungen des Berichtenden ändert hieran auch die Anwendung der sehr empfindlichen elektromagnetisch-photographischen Registriermethode nichts. Sind wirklich mit einem vulkanischen Vorgang weiter ausstrahlende Bodenerschütterungen verknüpft, so ist mit diesem sicher ein tektonischer Vorgang verbunden. Dieser Ansicht des Verfassers kann nur zugestimmt werden.

Zur eingehenden Klärung verschiedener seismogenetischer Fragen wäre es wünschenswert, Erdbebenwarten zwischen 60—80° nördl. Breite anzulegen, die mit empfindlichen Seismographen für die drei Komponenten der erregten Bodenbewegung derart ausgerüstet sind, daß auch über die Herdtiefe der Störungsquellen etwas Näheres ermittelt werden könnte.

C. Mainka.

**Neue amtliche Kartenwerke des Reichsamtes für Landesaufnahme.**

1. *Kreiskarten* 1 : 100 000. Schwarzdruck. Kreisgrenze und Anschluß der Nachbarkreise rot. Cleve. — Eckartsberga. — Friedeberg i. Neumark. Gardelegen. — Grimmen. — Lebus. — Ostprignitz. — Prenzlaw. — Salzwedel. — Templin. — Westprignitz.
2. *Umgebungskarten* 1 : 100 000. Schwarzdruck. Itzehoe. — Hamm. — Stettin.
3. *Einheitskarten*. 1 : 100 000. Fünffarbiger Buntdruck. Nr. 33 (Stade, Hamburg, Buxtehude, Harburg). — 35 (Schwerin, Goldberg, Ludwigslust, Parchim). — 48 (Rotenburg, Amelinghausen, Walsrode, Soltau). — 49 (Lüneburg, Dannenberg, Ülzen, Salzwedel). — 52 (Wittstock, Rheinsberg, Neuruppin, Oranienburg). — 60 (Diepholz, Nienburg, Lübbecke, Minden). — 61 (Neustadt am Rübenberge, Celle, Hannover, Lehrte). — 66 (Cüstrin, Landsberg a. W., Frankfurt a. O., Zielentzig). — 74 (Wolfenbüttel, Oschersleben, Goslar, Halberstadt). — 76 (Belzig, Luckenwalde, Wittenberg, Jüterbog). — 78 (Fürstenberg, Crossen, Guben, Sommerfeld). — 86 (Nordhausen, Ballenstedt, Bleicherode, Sondershausen).
4. *Karte des Deutschen Reiches*. 1 : 100 000. Blatt 17, Heinrichswalde.
5. *Meßtischblätter auf Grund von Neuaufnahmen*. 1 : 25 000. Nr. 241, Kattenau. — 557, Rosengarten. — 641, Lötzen. — 727, Paprotdken. — 906, Bubrowko. — 1004, Johannsburg. — 1098, Farienen. — 1099, Turoscheln. — 1100, Pagobien.
6. *Meßtischblätter als vorläufige Herausgabe im*

photoalgraphischem Druck. 1 : 25 000. Nr. 240, Brakupönen. — 242, Stallupönen. — 243, Eydtkuhnen. — 290, Nemmersdorf. — 291, Gumbinnen. — 292, Trakehnen. — 293, Pillupönen. — 294, Gr. Sodehnen. — 347, Darkehmen. — 348, Praßlauken. — 350, Mehlkehmen. — 351, Gr. Kallweit-schen. — 412, Abschermeningken. — 413, Goldap. — 415, Rominten. — 416, Szittkehmen.

7. *Umgebungskarten.* 1 : 25 000. Blatt Stettin.

8. *Einzlwerke:* Karte des Thüringer Waldes, 1 : 100 000. — Karte des Taunus, 1 : 100 000. — Wanderkarte des Hochaunus, 1 : 25 000. — Karte der Provinz Brandenburg, 1 : 300 000. — Die Deutschen im Polnischen Korridor, 1 : 300 000. Nach einem Entwurf von A. Penck bearbeitet von H. Heyde. O. B.

## Astronomische Mitteilungen.

**Die innere Bewegung bei den Spiralnebeln.** Den beiden bereits früher auf innere Bewegung untersuchten Spiralnebeln M (Messier) 101<sup>1)</sup> und M 33<sup>2)</sup> fügt A. van Maanen neuerdings zwei weitere Spiralnebel, M 51 und M. 81, hinzu, wodurch die zuerst erhaltenen Ergebnisse in vollem Umfang bestätigt werden. Die Untersuchung ist bei allen diesen Nebeln in der Weise durchgeführt, daß auf zwei zeitlich genügend weit auseinander liegenden Aufnahmen die Rektaszensions- und Deklinationsänderungen für eine größere Anzahl von Nebelknoten mit Hilfe des Stereokomparators (Blinkvorrichtung) ermittelt wurden. Dasselbe geschah für eine Reihe von Sternen, von denen anzunehmen war, daß sie nicht dem Nebel angehören.

Während die Sterne in der Zwischenzeit nur geringe und regellose Bewegungen erkennen lassen, zeigen die Nebelknoten deutlich ausgeprägte, systematische Ortsveränderungen. Wie die Gestalt der Spiralnebel erwarten läßt, befindet sich die Materie in rotierender Bewegung. Jedoch handelt es sich nicht um eine einfache Rotationsbewegung des ganzen Spiralnebels, sondern es tritt noch eine radiale Komponente von erheblichem Betrag hinzu. Die Mittelwerte für alle Nebelknoten jedes einzelnen Plattenpaares sind in der beigegebenen Tabelle zusammengestellt.

*Die innere Bewegung bei den Spiralnebeln (Einheit für die Bewegung ist 0,001 Bogensekunde für ein Jahr).*

| Nebel | Fokuslänge<br>m | Intervall<br>in Jahren | Rotations-<br>bewegung | Radiale<br>Bewegung | Strom-<br>bewegung | Senkrechte<br>Bewegung | Anzahl der<br>vermes-<br>senen Nebel-<br>knoten |
|-------|-----------------|------------------------|------------------------|---------------------|--------------------|------------------------|---|
| M 101 | 7,6             | 5                      | + 21 (1)               | + 5 (1)             | + 21 (1)           | 0 (1)                  | 87  |
| M 101 | 5,5             | 9                      | + 20 (2)               | + 6 (2)             | + 22 (2)           | — 3 (2)                | 69  |
| M 101 | 5,5             | 15                     | + 12 (2)               | + 7 (2)             | + 14 (2)           | + 2 (2)                | 46  |
| M 33  | 7,6             | 10                     | + 20 (3)               | + 6 (2)             | + 24 (3)           | — 2 (2)                | 30  |
| M 33  | 24,4            | 5                      | + 14 (4)               | + 12 (3)            | + 18 (4)           | + 4 (3)                | 21  |
| M 51  | 7,6             | 11                     | + 19 (1)               | + 8 (1)             | + 21 (1)           | + 3 (1)                | 79  |
| M 81  | 7,6             | 6                      | + 20 (4)               | + 17 (3)            | + 25 (3)           | + 16 (3)               | 52  |
| M 81  | 7,6             | 11                     | + 38 (1)               | + 13 (1)            | + 39 (1)           | + 7 (1)                | 104   |

Zu dieser Tabelle ist im einzelnen folgendes zu bemerken: Die zweite Spalte gibt die Brennweite des benutzten optischen Systems (meist der 60-zöllige

<sup>1)</sup> Astrophys. Journal Vol. 44, S. 210, 1916.

<sup>2)</sup> Proceed. of the National Academy of Sciences Vol. 7, S. 1, 1921.

<sup>3)</sup> Astrophys. Journal Vol. 54, S. 237 u. 347, 1921.

Spiegel des Mt.-Wilson-Observatoriums), die dritte Spalte die Zwischenzeit zwischen den beiden zur Herleitung der Bewegung benutzten Platten. Man erkennt, daß bei der jeweils verwendeten Brennweite bereits kurze Zwischenzeiten genügt haben, um die Bewegung der Nebelknoten festzustellen. Die beiden nächsten Spalten enthalten die Mittelwerte der Rotationen und Radialkomponente der Bewegung für ein Jahr in Tausendstel Bogensekunden; die in Klammer beigefügten Zahlen sind die wahrscheinlichen Fehler der entsprechenden Beträge. Die Anzahl der vermessenen Nebelknoten, aus denen die Mittelwerte gebildet wurden, sind in der letzten Spalte gegeben. Der Drehungssinn ist positiv in der Richtung, in der die Spiralarme nach außen gehen; die radiale Komponente ist ebenfalls positiv nach außen. Die Bewegung der Materie erfolgt also bei allen Spiralnebeln im gleichen Sinn. Nach der beobachteten Rotationsgeschwindigkeit würde eine volle Umdrehung des Nebels erfolgen

für M 101 in 85 000 Jahren,

„ M 33 „ 160 000 „

„ M 51 „ 45 000 „

„ M 81 „ 58 000 „

Neben der Zerlegung der Bewegung in eine tangential und eine radiale Komponente enthält nun die Tabelle noch eine solche in zwei Komponenten, von denen die eine in die Richtung des Spiralarmes fällt (Strombewegung), die andere senkrecht dazu steht. Die letztere ist für die drei ersten Nebel praktisch null, für M 81 wenigstens kleiner als die radiale Komponente. Mit großer Wahrscheinlichkeit ist also anzunehmen, daß der Spiralnebel nicht als Ganzes rotiert, daß vielmehr die Materie längs der Spiralarme vom Kern wegströmt.

Die Spiralnebel wären damit vielleicht in eine Klasse von kosmischen Gebilden zu rechnen, deren Entwicklung Jeans in den „Problems of Cosmogony and Stellar Dynamics“ bereits theoretisch untersucht hat. Ein rotierender Gasball führt hiernach nur dann zur Ringbildung im Sinne der Laplaceschen Theorie, wenn ein merklicher äußerer Gravitationseinfluß fehlt. Ist ein solcher auch nur in geringem Maße vorhanden, so löst sich die Materie an zwei entgegengesetzten Punkten der linsenförmigen Gasmasse los, und da-

durch kann die Bildung von Spiralarmen eingeleitet werden. Wie weit diese Übereinstimmung in Wirklichkeit vorhanden ist, läßt sich freilich erst dann weiter prüfen, wenn wir den Betrag der absoluten Bewegung der Materie in den Spiralarmen kennen.

Die Untersuchungen van Maanens geben lediglich die Bewegungen an der Sphäre. Die Entfernung der



Spiralnebel ist dagegen unbekannt. Die verschiedenen, bisher angewandten Methoden führen teils auf Entfernungen, die denen der übrigen Nebel und Sterne entsprechen; sie verlegen die Spiralnebel also in den engeren Bereich des Sternsystems, zu welchem die Sonne gehört. Teils auch sind die erhaltenen Entfernungen erheblich größer, so daß die Spiralnebel als unserem Milchstraßensystem gleichgeordnete Systeme aufzufassen wären. Gegen diese letztere Annahme sprechen nun aber gerade die durch *van Maanen* gefundenen Winkelgeschwindigkeiten. Denn man käme hierbei auf absolute Geschwindigkeiten, die etwa der des Lichtes gleich wären. Dies ist äußerst unwahrscheinlich. So wird man wohl gerade auf Grund der festgestellten Bewegungen die Spiralnebel als Glieder unseres eigenen Milchstraßensystems aufzufassen haben, für deren Entstehung besondere Bedingungen vorhanden waren.

**Die innere Bewegung im Crab-Nebel.** Auf ähnliche Weise wie die Spiralnebel ist von *J. C. Duncan* der unregelmäßig gestaltete *Crab-Nebel im Stier* untersucht worden<sup>1)</sup>. Die benutzten Platten sind ebenfalls mit dem 60zölligen Mt.-Wilson-Refraktor erhalten und liegen 11½ Jahre auseinander. Während die vermessenen Sterne wieder geringe unregelmäßige Bewegungen zeigen, besitzen zwölf leicht identifizierbare Nebelknoten eine nach außen gerichtete Bewegung von 1,54 Bogensekunden im Mittel für das ganze Zeitintervall. Diese Geschwindigkeit läßt wieder darauf schließen, daß auch der Crab-Nebel ein verhältnismäßig nahes Gebilde ist. Bei einer absoluten Geschwindigkeit von z. B. 25 km pro Sekunde käme man auf eine Entfernung von 100 Lichtjahren.

A. Kopff.

**Kapteyns Versuch einer dynamischen Auffassung des Fixsternsystems<sup>2)</sup>** Daß die bewundernswert konsequenten Untersuchungen *Kapteyns* über die Struktur des Systems der uns umgebenden Fixsterne schließlich zu einem Versuch führen würden, dieses System als physikalisches System zu erfassen, war eine natürliche Konsequenz. Auch ein langes Menschenleben, wie es *Kapteyn* beschieden war, reicht aber nicht aus, die Forderungen, die ein so umfassendes Problem stellt, der Praxis zu unterbreiten und noch ihre volle Erfüllung abzuwarten. Diese Erkenntnis hat *Kapteyn* dazu bewogen, der definitiven Bearbeitung alles geforderten Materials, die im Gange ist, durch einen vorläufigen Abschluß<sup>3)</sup> vorzugreifen, der wahrscheinlich im wesentlichen durch die definitive Lösung nicht verändert werden wird, und auch den letzten Schritt, die dynamische Deutung, zu wagen.

Als wesentlichste Erkenntnis über die Anordnung der Fixsterne im Raume ist die Abnahme der Stern-dichte (Zahl der Sterne in einer Kubiksternweite) mit der Entfernung anzusehen. Die Sterndichte nimmt jedoch nicht nach allen Richtungen gleich schnell ab, sondern in der Ebene der Milchstraße beträchtlich langsamer als in der dazu senkrechten Richtung. Die Flächen gleicher Dichte erweisen sich nahezu als konzentrische Rotationsellipsoide mit konstantem Achsenverhältnis; die kurze Achse ist Rotationsachse. An den Polen der Milchstraßenebene und im innersten Kern weicht die Verteilung von dieser einfachen Form etwas ab, für seinen theoretischen Versuch nimmt *Kapteyn*

sie als gegeben an. Um eine solche Anordnung zu deuten, kann man nicht umhin, eine Rotation der Fixsterne um die kurze Achse des Systems anzunehmen, wenn auch aus den beobachteten Bewegungen darauf nicht geschlossen werden kann. Im übrigen stehen der dynamischen Begründung die Schwerkraft, die überall in der Richtung zum Mittelpunkt wirkt, und die ungeordneten Spezialbewegungen der einzelnen Sterne, die sich durch eine Maxwellsche Verteilungsfunktion darstellen lassen, zur Verfügung. Es liegt nahe, das Fixsternsystem theoretisch wie eine ihrer eigenen Schwere unterworfenen Gasmasse zu behandeln. Solange neben der ungeordneten (Wärme-)Bewegung keine systematische Bewegung angenommen wird, besteht eine kugelsymmetrische Dichteverteilung, eine ellipsoidische Verteilung kann (als stabiler Zustand) nur zustande kommen, wenn infolge einer Rotationsbewegung Schwerebeschleunigung und Zentrifugalbeschleunigung sich zu einer Resultante zusammensetzen, die an jeder Stelle senkrecht auf der Fläche gleicher Dichte steht.

*Kapteyn* teilt den Raum bis zu dem Ellipsoid, auf dem die Dichte  $\frac{1}{100}$  der zentralen Dichte beträgt, in zehn ellipsoidisch begrenzte Schalen und nimmt für jede Schale eine mittlere Dichte an. Da die Zahl der Sterne in jeder Schale bekannt ist, kann die Anziehungskraft jeder Schale und durch Summation die des ganzen Systems auf einen beliebigen Punkt berechnet werden; als Einheit wird dabei die Anziehungskraft der mittleren Sternmasse in einer Entfernung von einer Sternweite benutzt. Um diese Einheit, also die mittlere Masse eines Sterns, zu bestimmen, isoliert *Kapteyn* die nächste Umgebung der Rotationsachse, in der keine merkliche Rotationsbewegung, sondern nur ungeordnete Bewegungen auftreten müssen. Längs der Rotationsachse kann die barometrische Formel angesetzt werden. In ihr bleibt, wenn als mittlere Geschwindigkeit der Sterne der aus der Erfahrung genommene Wert 10,3 km/sec. eingeführt wird, nur die Schwerebeschleunigung unbekannt, sie kann also bestimmt werden. Als mittlere Masse eines Sterns ergibt sich 2,2 in Schale II (Sonnenmasse = 1), sie nimmt nach außen ab bis 1,4 in Schale X. Das Mittel 1,6 stimmt überein mit dem Werte, der aus Doppelsternbeobachtungen als mittlere Gesamtmasse eines Doppelsterns folgt.

In der galaktischen Ebene ergibt sich auf dieselbe Weise eine Schwerebeschleunigung, die nur etwa halb so groß ist wie die längs der Achse gefundene. Da es vernünftig erscheint, innerhalb jeder Schale dieselbe mittlere Sternmasse anzunehmen, sieht *Kapteyn* die Verminderung der Beschleunigung als Zentrifugalbeschleunigung an und berechnet daraus die Rotationsgeschwindigkeiten für die Punkte der galaktischen Ebene. Für Punkte außerhalb der galaktischen Ebene wird die Rotationsgeschwindigkeit aus der Bedingung berechnet, daß die Resultante von Schwere- und Zentrifugalbeschleunigung senkrecht auf die Flächen gleicher Dichte gerichtet sein muß, wenn die Flächen gleicher Dichte zugleich Niveaulächen sein sollen. Für kleine Entfernungen von der Rotationsachse (< 1000 Sternweiten) ergibt sich nicht die gleiche Rotationsgeschwindigkeit in allen Abständen von der galaktischen Ebene, doch können diese Ungleichheiten in den Vereinfachungen und Unvollkommenheiten der Ableitung ihren Grund haben. Aus den für die galaktische Ebene abgeleiteten Werten folgt, daß in allen Entfernungen > 2000 Sternweiten die Sterne mit einer konstanten linearen Geschwindigkeit von 19,5 km/sec. umlaufen (immer abgesehen von ihrer dem Zufall folgenden Spezialbewegung). Dieses auffällige Ergebnis

<sup>1)</sup> Proceedings of the National Academy of Sciences Vol. 7, S. 179, 1921.

<sup>2)</sup> Astrophysical Journal 55, S. 302.

<sup>3)</sup> Astrophysical Journal 52, S. 23.

führt zu einer *überraschenden Erklärung der von der Stellarstatistik aufgedeckten Strombewegung der Sterne*. Die Rotationsbewegung ist nur eingeführt worden, um eine Zentrifugalbeschleunigung zu erklären, über den Sinn der Rotation ist also nichts bestimmt worden. Werden beide Richtungen zugelassen, so folgt daraus, daß an jeder Stelle des Systems, die weit genug von der Achse entfernt liegt, eine Gegeneinanderbewegung von Sternen (eine Strombewegung) mit 39 km/sec. Geschwindigkeit beobachtet werden muß. Aus der Beobachtung ist in der Umgebung der Sonne eine solche Strombewegung mit 40 km/sec. bekannt. Wenn die Sonne weit genug von der Rotationsachse entfernt ist, muß diese Übereinstimmung bestehen. Wenn außerdem das Gebiet der Sterne, deren Eigenbewegungen zur Kenntnis der Strombewegungen geführt haben, klein ist gegenüber dem Abstand vom Zentrum, kann die Krümmung der Bahnen nicht bemerkt werden. Beide Bedingungen sind wahrscheinlich erfüllt.

Die numerische Übereinstimmung der theoretischen und der beobachteten Stromgeschwindigkeit ist wohl ein Zufall, die Unvollkommenheiten eines solchen ersten Versuches lassen eine so große Genauigkeit gar nicht erwarten. Es ist unnötig, auf diese Unvollkommenheiten und Mängel hinzuweisen. Sie treten beim Studium der Arbeit deutlich genug hervor und werden von *Kapteyn* auf ihre möglichen Konsequenzen hin beleuchtet. Mit Recht hebt aber *Kapteyn* hervor, daß das wesentliche Resultat dieses Versuches überraschend genug ist, um eine Wiederholung mit vollkommeneren Unterlagen und eine zweite und dritte Näherung zu rechtfertigen.

**Über die Entfernung, bis zu der sich die Verteilung der Sterne im Raume mit einiger Sicherheit bestimmen läßt.** In einer kritischen Arbeit<sup>1)</sup> untersuchen *Kapteyn* und *van Rhijn* die Frage, über welches Raumgebiet das jetzt und in der nächsten Zukunft zur Verfügung stehende Beobachtungsmaterial uns eine sichere Übersicht verschafft. Die Grenze dieses Bereichs liegt da, wo unzureichende Beobachtungsdaten in die Kapteynschen Untersuchungen über die Verteilung der Sterne eintreten. Der Gang dieser Untersuchungen ist, ganz kurz zusammengefaßt: Die Sterne, deren scheinbare Helligkeit  $m$ , Eigenbewegung  $\mu$  und Entfernung  $q$  bekannt sind, werden nach zwei Argumenten, der scheinbaren Helligkeit und der Größe der Eigenbewegung, gruppiert. Für jede Gruppe mit einem mittleren  $m$  und einem mittleren  $\mu$  wird das Mittel der zugehörigen Parallaxen  $\pi$  ( $\pi$  reziprok zu  $q$ ) gebildet. Durch Ausgleichung werden die Koeffizienten der Gleichung:  $\log \pi = A + Bm + C \log \mu$  bestimmt. Die Basis wird dadurch verbreitert, daß für jedes Intervall von  $m$  als Mittelwert der Parallaxe die mittlere parallaktische Bewegung der Sterne dieser Größe eingeführt wird. Nachdem die Koeffizienten bestimmt sind, liefert die Gleichung für alle Sterne mit bekannter Eigenbewegung und scheinbarer Helligkeit einen Durchschnittswert der Entfernung. Durch die scheinbare Helligkeit und die Entfernung bestimmt sich die absolute Helligkeit. Auf diesem Weg führt die Kapteynsche Gruppierung zur Kenntnis der Zahl der Sterne jedes Intervalls der absoluten Helligkeit (Leuchtkraft) und zur Kenntnis der Zahl der Sterne in einer Kubiksternweite (Sterndichte, von der Entfernung abhängig). Wenn noch die parallaktische Bewegung der Sterne 10. Größe als ausreichend bekannt

angesehen wird, kommt man auf diesem Wege bis zu Entfernungen von etwa 400 Sternweiten. — Ein großer Schritt weiter läßt sich aber tun, wenn man annimmt, daß die Leuchtfunktion (Verteilung der absoluten Helligkeiten) in der gefundenen Form auch in größeren Entfernungen unverändert gilt, und man die Gesamtzahl aller Sterne bis zu einer möglichst geringen Helligkeit der Betrachtung unterwirft. Wenn die Leuchtfunktion  $\Phi(m)$  und der Verlauf der Gesamtzahl  $N_m$  mit wachsenden  $m$  bekannt sind, kann die Sterndichte an jeder Stelle des Raumes angegeben werden.  $\Phi(m)$  hat sich als eine Gaußsche Fehlerkurve herausgestellt und ist so gut auf beiden Seiten ihres Maximums bekannt, daß sie als sicher angenommen werden kann; daß sie unabhängig von der Entfernung überall gilt, bleibt aber eine Annahme. Die Grenze erhält die Bestimmung der Sterndichte durch die Unsicherheit der Funktion  $N_m$ . Zurzeit kann die Zahl  $N$  als bekannt angesehen werden bis  $m=14$ . Das Maximum der Kurve liegt aber vermutlich etwa bei  $m=25$ , es kann also von einer sicheren Bestimmung der Kurve nicht die Rede sein. *Kapteyn* schätzt ab, daß mit  $N_m = N_{14}$  bis zu Entfernungen von etwa 1200 Sternweiten das Dichtegesetz mit befriedigender Genauigkeit (25 %) bestimmt werden kann. Mit den bald erreichbaren Werten  $N_{17}$  wird die Grenze bis zu etwa 3000 Sternweiten hinauszurücken sein. Eine noch weitergehende Verbesserung läßt sich erzielen, wenn man den Differentialquotienten  $d\Delta(q)/dq$  verwendet, für den *Kapteyn* eine Beziehung zu den Beobachtungsdaten in Aussicht stellt. Bei gleichzeitiger Verwendung von  $N_{17}$  wird das Dichtegesetz  $\Delta(q)$  dadurch überall bekannt, wo die Dichte  $\Delta$  nicht kleiner als  $1/100$  der Sterndichte in der Sonnenumgebung ist ( $\Delta \geq \Delta_0/100$ ). Eine klare Übersicht bietet die hier abgedruckte Tafel der Arbeit von *Kapteyn* und *van Rhijn*. Die Zahlen (Sternweiten) ohne Klammern sind jetzt erreichbar, die eingeklammerten in nächster Zukunft.

| Methode   | Galaktische Breite |         |                         |
|---|--------------------|---------|-------------------------|
|   | 0°—20°             | 40°—90° | 0°—90°                  |
| 1. Direkte Parallaxenbestimmung . . .                             |                    |         | 50                      |
| 2. Parallaktische Bewegung bis $m=10$                             | 320                | 240     | 300                     |
| 3. Parallaktische Bewegung bis $m=13$                             | (830)              | (610)   | (720)                   |
| 4. Parallaktische Bew. bis $m=10$ u. Eigenbeweg. bis $\mu 0''.01$ | 400                | 320     | 360                     |
| 5. Wie 4., dazu $N_m$ bis $m=14$ . . .                            | 1600               | 800     | 1200                    |
| 6. Wie 4., dazu $N_m$ bis $m=17$ . . .                            | (4000)             | (1600)  | (2800)                  |
| 7. $d\Delta(q)/dq$ und $N_m$ bis $m=14$ . . .                     | 3000               | 1000    | 2000                    |
| 8. $d\Delta(q)/dq$ und $N_m$ bis $m=17$ . . .                     | (8000)             | 1700    | $\Delta = \Delta_0/100$ |

Man erkennt aus den Entfernungszahlen der Tabelle, daß die Daten der nächsten Zukunft ausreichen werden, um eine gute Kenntnis des engeren Sternsystems zu geben, das die Sonne umgibt, daß es aber der neueren, physikalische Kennzeichen benutzenden Methoden bedurfte, um über diese Grenzen hinauszukommen.

Kruse.

<sup>1)</sup> Astrophysical Journal 55, Nr. 3.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W. 9.

Heft 38. (Seite 823—854)

22. September 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Emil Warburg als Forscher. Von *Albert Einstein*, Berlin. S. 823.

Hat der „Sympathicus“ eine direkte Einwirkung auf den quergestreiften Muskel? Von *J. N. Langley*, Cambridge. S. 829.

Vom Seelenleben gefangener Vögel. Von *Fritz Braun*, Danzig-Langfuhr. S. 833.

Über die Bildung der Glucoside. Von *Max Bergmann*, Berlin-Dahlem. S. 838.

### Besprechungen:

Dimmer, F., Der Augenspiegel und die ophthalmologische Diagnostik. 3. Auflage. Von *H. Erggelet*, Jena. S. 842.

Graff, K., Astrophysik. 3. Auflage von *J. Scheiners* „Populäre Astrophysik.“ Von *S. Oppenheim*, Wien. S. 843.

Aigner, F., Unterwasserschalltechnik. Grundlagen, Ziele und Grenzen. Von *E. Waetzmann*, Breslau. S. 844.

Bohr, Niels, Drei Aufsätze über Spektren und Atombau. Von *J. Franck*, Göttingen. S. 844.

Landé, A., Fortschritte der Quantentheorie. Von *G. Wentzel*, München. S. 845.

Georgiewics, G., Handbuch der Farbenchemie. 5. Auflage. Von *P. Friedlaender*, Darmstadt. S. 845.

Müller, Carl, Rebschädlinge und ihre neuzeitliche Bekämpfung. 2. Auflage. Von *Albrecht Hase*, Berlin-Dahlem. S. 845.

Physiologische Mitteilungen. S. 846—848.

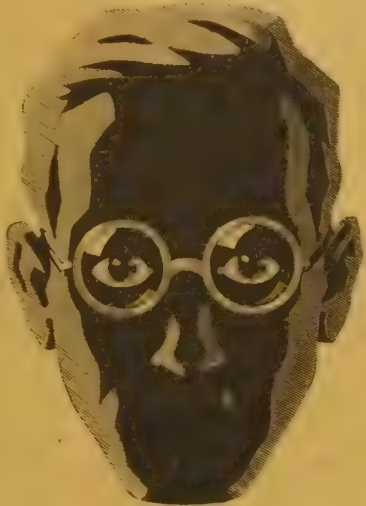
Vererbung und Entwicklung der musikalischen Veranlagung. Grenze der Widerstandsfähigkeit gegen Kälte bei den Raupen von *Cossus cossus*. Die chemische Sensitivität der Fußglieder des Admiralfalters, *Pyrausta nylanta* L. Das Nogramm als Mittel zur Berechnung der Oberfläche des lebenden menschlichen Körpers. Die Vitalität der amerikanischen Völker. Das Alkoholverbot der Vereinigten Staaten von Nordamerika.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten. S. 848—853.

Der 30-m-Basisentfernungsmesser von Barr und Stroud. (Mit 2 Abbildungen.) Bildung und Lebensdauer des metastabilen Heliums. (Mit 4 Abbildungen.)

Astronomische Mitteilungen. S. 853—854.

Die Grundlagen der Shapleyschen Entfernungsbestimmungen. A Research on Moving Clusters.



## GOERZ

### Largon-Brillengläser

übertreffen an Sehschärfe die bisher besten modernen Gläser. Sie bieten dem Auge bei zwangsfreiem (Akkommodationsruhe) schrägen Durchblick unter 30° zur Achse etwa doppelt so scharfe Bilder, als die punktuell abbildenden Gläser.

Bezug durch die Optiker. / Druckschriften kostenfrei.

Optische Anstalt C. P. Goerz A.-G. Berlin-Friedenau 91.

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 250.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 25.—.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 13.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagshandlung Julius Springer**, Berlin W 9, Link-Str. 23/24  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch  
Reichsbank-Giro-Konto: — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20120 Julius Springer,  
Konten: für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

### Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

**J. D. Möller, Wedel in Holstein.**  
Gegründet 1864. (294)

### Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu kaufen gesucht. Angebote unter  
Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

### Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

**Der Aufbau der Materie.** Drei Aufsätze über moderne Atomistik und Elektronentheorie. Von Max Born. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 37 Textabbildungen (VI, 86 S.) 1922. Preis M. 48.—

**Das Weltgebäude im Lichte der neueren Forschung.** Von Dr. W. Nernst, o. ö. Professor an der Universität Berlin. (IV, 64 S.) 1921. Preis M. 12.—\*

**Fluoreszenz und Phosphoreszenz im Lichte der neueren Atomtheorie.** Von Peter Pringsheim. Mit 32 Textfiguren. (VIII, 202 S.) 1921. Preis M. 48.—\*

**Ultra-Strukturchemie.** Ein leichtverständlicher Bericht von Professor Dr. Alfred Stock, Zweite, durchgesehene Auflage. Mit 17 Textabbildungen. (III, 81 S.) 1920. Preis M. 12.—\*

**Valenzkräfte und Röntgenspektren.** Zwei Aufsätze über das Elektronengebäude des Atoms. Von Dr. W. Kossel, o. Professor an der Universität Kiel. Mit 11 Abbildungen. (IV, 70 S.) 1921. Preis M. 12.—\*

**Das Wesen des Lichts.** Vortrag, gehalten in der Hauptversammlung der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft am 28. Oktober 1919. Von Dr. Max Planck, Professor der theoretischen Physik an der Universität Berlin. Zweite, unveränderte Auflage. (22 S.) 1920. Preis M. 3 60\*

**Das Problem der Entwicklung unseres Planetensystems.** Eine kritische Studie. Von Dr. Friedrich Nölke. Zweite, völlig umgearbeitete Auflage. Mit einem Geleitwort von Dr. H. Jung, o. Professor der Mathematik an der Universität Kiel. Mit 16 Textfiguren. (XIV, 387 S.) 1919. Preis M. 28.—\*

\* Hierzu Teuerungszuschlag



## Emil Warburg als Forscher.

Von Albert Einstein, Berlin.

Letzten April ist *Emil Warburg* von der Leitung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt zurückgetreten, ein Mann, der seit fünf und fünfzig Jahren mit zäher Kraft und vielseitiger Begabung erfolgreich an der Entwicklung der Physik mitarbeitet. Ist es berechtigt, aus dem organischen Bau und Wachstum der Wissenschaft die Geschichte eines Einzelnen herauszuheben? Ist dessen Tätigkeit nicht so eng verflochten mit der Arbeit der Vorgänger und Zeitgenossen, daß es wie eine Art Zufall anzusehen ist, ob ein ins Auge gefaßter Schritt von dem einen oder dem andern Individuum zuerst gemacht worden ist? Der Gehalt einer Wissenschaft läßt sich ohne Zweifel begreifen und beurteilen ohne Eingehen auf die individuelle Entwicklung derer, die sie geschaffen haben. Aber bei solcher einseitig-objektiven Darstellung erscheinen die einzelnen Schritte manchmal wie vom Zufall gelenkt. Das Verständnis dafür, wie diese Schritte möglich, ja nötig waren, erlangt man erst durch Verfolgung der geistigen Entwicklung der Individuen, die richtunggebend mitgearbeitet haben. Von diesem Gesichtspunkt aus wollen wir die Arbeit unseres Zeitgenossen zu überblicken suchen. Dabei müssen wir uns aber auf das heute als besonders wichtig Erscheinende beschränken; denn die vier stattlichen Bände Warburgscher Originalarbeiten, welche vor mir liegen, betreffen die verschiedensten Themen der Physik und lassen sich nicht alle zwanglos unter einheitliche Gesichtspunkte bringen, was doch für unsere Übersicht unerlässlich ist. Dafür sei aber das Verzeichnis der Arbeiten z. T. mit kurzer Andeutung über den Inhalt am Schlusse dieses Aufsatzes angegeben, die dem Fachmann die Benutzung von *E. Warburgs* reichen Arbeitsergebnissen erleichtert.

Warburgs erste Arbeiten (auch die lateinische Dissertation 1868) beschäftigen sich theoretisch und experimentell mit der Mechanik der akustischen Schwingungen (Schwingungen von Stäben, Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in weichen Körpern durch Kopplung solcher mit nahezu ungedämpft schwingenden Systemen. Reversible oszillatorische Änderung der Magnetisierung von Eisenstäben durch Schwingungsdeformationen; Erwärmung durch Schallschwingungen; Dämpfung der Töne fester Körper durch innere Widerstände).

1870 zeigte Warburg durch Versuche über den Ausfluß des Quecksilbers aus gläsernen Kapillar-

röhren, daß beim Strömen des Quecksilbers eine Gleitung des Quecksilbers am Glase nicht in beobachtbarem Betrage stattfindet. Diese Arbeit liefert den natürlichen Ausgangspunkt zu einer wichtigen Untersuchung, die Warburg 1875 zusammen mit *A. Kundt* der Berl. Akad. d. W. durch *Helmholtz* vorlegen ließ (Über Reibung und Wärmeleitung verdünnter Gase). Während nämlich bei strömenden Flüssigkeiten eine merkliche Gleitung der an die Wand unmittelbar grenzenden Schicht nicht stattfindet, wird eine wahrnehmbare Gleitung bei Gasen von der kinetischen Gastheorie verlangt in dem Falle, daß die freie Weglänge der Gasmoleküle gegenüber den in Betracht kommenden Gefäßdimensionen nicht praktisch zu vernachlässigen ist. Es herrscht nach der Theorie an der Wand noch eine Strömungsgeschwindigkeit des Gases, welche ohne das Gleitungsphänomen in einer Entfernung  $0,7\lambda$  ( $\lambda$  = freie Weglänge im Gase) von der Wand stattfinden würde. An der Wand findet also eine unstetige Änderung der Strömungsgeschwindigkeit statt, die desto größer ist, je größer die Weglänge, d. h. je kleiner die Dichte des Gases ist.

Die Erklärung dieses Phänomens ist einfach. Die in thermischer Agitation befindlichen Moleküle, welche an die Wand stoßen, sind in einer tieferen Schicht zum letztenmal zusammengestoßen, haben also eine mittlere einseitige Translationsgeschwindigkeit (Strömung) parallel der Wand. Nach dem Zusammenstoß mit der Wand haben sie im Mittel keine Strömungsgeschwindigkeit mehr. Im Mittel haben also die der ruhenden Wand unmittelbar benachbarten Moleküle eine von Null verschiedene Strömungsgeschwindigkeit (scheinbare Gleitung).

Durch eine ganz ähnliche Überlegung findet man, daß an einer Wand ein Temperatursprung zwischen Wand und Gas stattfinden muß, wenn senkrecht zur Wand ein Temperaturgefälle (Wärmestrom) existiert. Die Gastemperatur an der Wand muß so sein, wie wenn sie ohne Temperatursprung in einer Entfernung  $0,7\lambda$  von der Wand herrschen müßte.

Die Existenz beider Effekte wurde von *Kundt* und Warburg experimentell einwandfrei bewiesen, wichtige Argumente dafür, daß die kinetische Gastheorie der Wirklichkeit entspricht. Es war das erste Mal, daß auf Grund der molekularen Theorie der Wärme ein neues Phänomen vorausgesagt worden war, und zwar ein Phänomen, dessen Darstellung auf Grund der kontinuierlichen Auffassung der Materie so gut wie ausgeschlossen war. Hätten die Energetiker am Ende des 19. Jahrhunderts diese Argumente ge-

nügend gewürdigt, so hätten sie die tiefe Berechtigung der Molekulartheorie schwerlich ernsthaft in Zweifel ziehen können.

Ein Jahr später fanden die beiden Autoren ein weiteres wichtiges experimentelles Beweisargument für die kinetische Gastheorie. Sie wiesen nämlich nach, daß die Wärmekapazität des Quecksilberdampfes  $\frac{3}{2} R$  pro Mol sei ( $R$  = Konstante der Gasgleichung). Wenn nämlich einatomige Gasmoleküle keine Energie der Rotation besitzen, sich also wie materielle Punkte verhalten, so wird die gesamte Wärmeenergie eines Gases nur in der fortschreitenden Bewegung seiner Moleküle bestehen, welche ihrerseits den Druck bei gegebenen Volumen eindeutig bestimmt. Dem entspricht die Gleichung:

$$\text{Wärmeenergie} = \frac{3}{2} p V = \frac{3}{2} R T$$

Der Nachweis wurde durch Messung der Schallgeschwindigkeit nach der Kundtschen Methode erbracht.

Die experimentelle Arbeit der nächsten Jahre 1872–79 ist dem Studium der äußeren Reibung und insbesondere dem Studium der elastischen Eigenschaften der festen Körper gewidmet, die über ihre Elastizitätsgrenze deformiert werden. Diese Arbeiten mögen Warburg durch Analogie zu einer der schönsten Früchte seines Schaffens geführt haben, nämlich zu dem Nachweis, daß die zyklische Magnetisierung ferromagnetischer Substanzen mit einem Verlust an mechanischer bzw. elektromagnetischer Energie verbunden ist, der als Hysteresiswärme in die Erscheinung tritt (1881). Auch den quantitativen Zusammenhang dieses Energieverlustes mit der Fläche der Hysteresiskurve hat er damals gefunden. Warburg berechnete die potentielle Energie eines permanenten Magneten in bezug auf ein magnetisiertes Eisenstück zu

$$\Phi = + \int dV \left( J_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} + J_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} + J_z \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) = - \int (J_h) dV$$

wobei  $J$  die Magnetisierung,  $\varphi$  das Potential des permanenten Magneten,  $dV$  das Volumenelement des Eisenstückes bedeutet. Es ergibt sich daher die bei einer unendlich kleinen Bewegung des permanenten Magneten zu leistende mechanische Arbeit  $dA$  gleich dem Zuwachs  $d\varphi$  von  $\varphi$  bei konstantem  $J$ :

$$dA = d\Phi(J) = - \int (J, d\mathbf{h}) dV$$

also die bei zyklischer Ummagnetisierung pro Volumeneinheit des Eisens zu leistende mechanische Arbeit gleich

$$A = - \int J d\mathbf{h}$$

wobei man der Vektor  $J$  als Funktion des Vektors  $\mathbf{h}$  zu betrachten ist. Wir pflegen heute zu schreiben:

$$A = + \int \mathbf{h} dJ$$

was natürlich für einen geschlossenen Zyklus der Magnetisierung auf das nämliche herauskommt.

Nachdem für Gase die kinetische Theorie so bedeutende Erfolge errungen hatte, war die Frage von hohem Interesse, wie weit die theoretischen Vorstellungen bei hoch komprimierten Gasen sich bewähren. Eine der merkwürdigsten, durch das Experiment gestützten Folgerungen jener Theorie, daß nämlich der Reibungskoeffizient unabhängig von der Dichte sei, wurde deshalb von Warburg und Babo (1882) für Kohlensäure bei hohen Dichten geprüft. Es ergab sich, daß mit der Dichte der Viskositätskoeffizient zwar zunimmt, aber doch nur um 9 %, wenn die Dichte bis zu dem 500fachen der normalen Dichte (derjenigen bei Atmosphärendruck und gewöhnlicher Temperatur) gesteigert wird. Daraus ergibt sich, daß die Grundvorstellungen der Gastheorie bis zu hohen Dichten zutreffen. Eine sichere Erklärung dafür, worauf jene geringe Zunahme beruht, haben wir nicht. Vielleicht beruht sie darauf, daß in dichten Gasen der scheinbare Durchmesser des Moleküls dadurch kleiner ist als in wenig dichten, daß die Molekularkräfte, die von benachbarten Molekülen auf ein ins Auge gefaßtes ausgeübt werden, einander teilweise kompensieren.

Von 1887 an konzentriert sich Warburgs Arbeit auf das Studium der elektrischen Leitung in gasförmigen, flüssigen und festen Körpern, die Erforschung der elektromotorischen Kräfte und der durch elektrische Vorgänge in Gasen erzeugten chemischen Reaktionen. Diese letzteren Studien führten ihn dann hinüber zu seinen bahnbrechenden Arbeiten auf dem Gebiete der Photochemie. Beim Lesen der Arbeiten über Gasentladung staunt man über die Fülle sorgfältiger Experimentalarbeit, die zunächst noch nicht geleitet war von der Ionenhypothese. Ich greife aus der Fülle jener Arbeiten nur diejenigen heraus, welche mir besonders wichtig erscheinen.

1887 und 1888 fanden Warburg und Tegetmeyer, daß auf 200 ° erhitzter Bergkristall elektrolytisch leitet, und zwar parallel, nicht aber senkrecht zur Hauptachse. Indem sie zunächst Goldblattelektroden verwandten, ergab sich eine Art Polarisierung von einer hohen Spannung, welche bewirkte, daß der Strom bei angelegter Spannung langsam abnahm. Bei Verwendung von Natriumamalgam als Elektroden fiel jene Polarisierung fort. Jene Untersuchungen, die für das Studium des festen Aggregatzustandes von Wichtigkeit sind, wurden in den letzten Jahren von Joffe erfolgreich fortgeführt. 1890 erschien eine Arbeit von Warburg über die galvanische Polarisierung, deren Bedeutung vielleicht auch heute nicht voll erkannt ist. Bekanntlich hat Helmholtz eine Theorie des Lippmannschen Kapillar-Elektrometers gegeben, welche auf folgendem Gedanken beruht. An der Grenzfläche Quecksilber—verdünnte Schwefelsäure besteht eine elektrische Doppelschicht, deren eine Belegung im Metall, deren andere im Elektrolyten sitzt.



Der durch eine angelegte Spannung bewirkte Polarisationsstrom ändert die Belegungsdichte jener Doppelschicht derart, daß die Oberfläche des Metalls bei diesem Vorgang die Rolle eines Isolators spielt. Die beobachtbare Oberflächenspannung des den Elektrolyten berührenden Quecksilbers setzt sich zusammen aus der eigentlichen (positiven) Oberflächenspannung  $T_0$  der Grenzschicht und der negativen Spannung  $T$  der elektrischen Doppelschicht. Die Gesamtspannung  $T_0 + T$  hat also nach ihm ein Maximum, wenn  $T$ , also auch die elektrische Doppelschicht, verschwindet. Man hätte also hier ein Mittel, um die elektrische Potentialdifferenz zwischen Quecksilber und Elektrolyt zum Verschwinden zu bringen und so Potentialdifferenzen Metall—Elektrolyt absolut zu messen.

Warburg hält dem entgegen, daß ein großer Teil des Polarisationsstromes sehr wohl dazu verwendet werden kann, daß Wasserstoff kathodisch ausgeschieden wird, und daß die Änderung der Gesamtoberflächenspannung  $T_0 + T$  des Quecksilbers sehr wohl auf einer durch den abgeschiedenen Wasserstoff bewirkten Änderung der Quecksilberoberfläche und damit von  $T_0$  beruhen kann. Diese Auffassung führt natürlich auch zu einer anderen Theorie des Wesens der Polarisation als die durch Helmholtz gegebene rein physikalische. Warburg hat seinen Standpunkt in mehreren Arbeiten ausführlich begründet und scheint mir mit dieser Untersuchung auf dem keineswegs abgeschlossenen Gebiete der Elektrochemie der Grenzschichten einen bahnbrechenden Schritt getan zu haben.

Im Zusammenhang mit diesem Problem stehen zwei weitere wichtige Arbeiten Warburgs, eine aus dem Jahre 1896 über das Verhalten von unpolarisierbaren Elektroden gegen Wechselstrom und eine (1901) über die Polarisationskapazität des Platins. Eine „unpolarisierbare Elektrode“ ist z. B. Cu gegen Lösung von  $\text{CuSO}_4$ . Wir würden heute eine solche dadurch charakterisieren, daß die elektrische Potentialdifferenz zwischen Metall und Elektrolyt in jedem Augenblick durch die Metall-Ionen-Konzentration an der Elektrode bestimmt ist. In diesem Falle ist, wie Warburg gezeigt hat, die ganze Polarisation zurückzuführen auf die durch die Diffusion limitierten Konzentrationsänderungen, welche die Elektrolyse an den Elektroden erzeugt. Die Phasendifferenz zwischen der Polarisations-E.M.K. und dem Strom ist in diesem Falle erheblich (z. B. um  $40^\circ$ )

kleiner als  $\frac{\pi}{2}$ . Ganz anders bei polarisierbaren Elektroden, z. B. Quecksilber—verdünnte Schwefelsäure. In diesem Falle ist die Phasenverspätung der Polarisationsspannung gegenüber dem Strom bei hoher Frequenz des Wechselstromes nur wenig kleiner als  $\frac{\pi}{2}$ ; die Elektrode verhält sich also ähnlich wie ein Kondensator hoher

Kapazität. Warburg zeigt, daß man diesen Fall dadurch verstehen kann, daß Produkte der Elektrolyse, z. B. Wasserstoff, periodisch durch die Elektrolyse an der (Platin-) Elektrode abgeschieden und gelöst werden, wobei die Potentialdifferenz Elektrode—Elektrolyt von der abgeschiedenen Menge in erster Näherung linear abhängt. Ohne Diffusion dieser Abscheidung (z. B. Wasserstoff) in die Lösung und ins Innere der Elektrode wäre die Phasendifferenz zwischen Strom und Spannung  $\frac{\pi}{2}$ ; jene Diffusion vermindert aber die Phasendifferenz. Diese Vorgänge werden von Warburg in der zweiten der genannten Arbeiten analysiert.

Die zahlreichen subtilen Untersuchungen über die chemischen Wirkungen der stillen elektrischen Entladung müssen von anderen gewürdigt werden, die die Meisterschaft experimenteller Feinarbeit besser zu beurteilen wissen als ich, ebenso die in Gemeinschaft mit Physikern der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt von Warburg ausgeführten Präzisionsuntersuchungen über die Plancksche Strahlungsformel. Wer einen Einblick in Warburgs erfindungsreiche Experimentierkunst, kritische Vorsicht, unermüdliche Arbeitskraft erlangen will, der muß die Originalabhandlungen studieren. Aber der photochemischen Arbeiten des letzten Jahrzehntes müssen wir noch gedenken, von denen man ohne Übertreibung sagen kann, daß sie die quantitative Photochemie erst begründet haben. Er hat an Gasreaktionen — zuerst im Jahre 1906 an Brom-Wasserstoff-Gas — in vollkommen einwandfreier Weise gezeigt, daß der Primärprozeß in der Aufnahme des Energiequantums  $h\nu$  der wirksamen Strahlung durch ein Molekül besteht. Dieser primäre Absorptionsvorgang hat an sich noch nichts zu schaffen mit den nachfolgenden chemischen Reaktionen, zu denen er nur die Energie liefert. Das mit einem absorbierten Quant beladene Molekül hat nun besondere Reaktionsmöglichkeiten. Es kann entweder (bei hinreichender Größe der Quantenenergie) spontan zerfallen, wobei die Spaltungsprodukte mit anderen Molekülen weiter reagieren; oder es kann das mit einem absorbierten Quant versehene Molekül mit anderen Molekülen in bestimmter Weise chemisch reagieren. Nur in dem Falle, daß jene chemischen Reaktionen eindeutig an die Quantenabsorption geknüpft sind, wird die Zahl der pro Quant umgesetzten Mole sich theoretisch voraussehen lassen, z. B. im Falle des  $\text{HBr}$ , wo pro Quantum absorbierten Strahlung ein Molekül  $\text{H}_2$  und ein Molekül  $\text{Br}_2$  gebildet wird. Daß diese wichtige Bestätigung der Quantentheorie erst so spät erbracht wurde, liegt einerseits an den großen experimentellen Schwierigkeiten (Messung der absorbierten ultravioletten Strahlungsenergie und der winzigen umgesetzten Mengen, Erzielung der nötigen Reinheit des Gases), andererseits auch in der theoretischen Interpretation des experimentellen Befundes.

Diese Zeilen können nur eine schwache Vorstellung von dem Lebenswerke eines so vielseitigen Forschers geben. Aber vielleicht veranlassen sie manchen Fachgenossen, sich in diese oder jene seiner Originalarbeiten zu vertiefen, deren im nachfolgenden gegebenes Verzeichnis vielleicht mehr begrüßt werden wird als die im bisherigen gegebenen bloßen Andeutungen über den Inhalt eines geringen Teiles derselben.

### Wissenschaftliche Abhandlungen von Emil Warburg.

1867. De Systematis Corporum Vibrantium. Berliner Dissertation.
1868. Über den Einfluß der Temperatur auf die Elektrolyse. Pogg. Ann. 135, 114—120.
1869. Über tönende Systeme. Pogg. Ann. 136, 89—102.
1869. Über die Schallgeschwindigkeit in weichen Körpern. Pogg. Ann. 136, 285—295.
1869. Über die Erwärmung fester Körper durch das Tönen. Pogg. Ann. 137, 632—640, Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 1869, 86—92, Phil. Mag. (4), 38, 138—142.
1869. Über die Dämpfung der Töne fester Körper durch innere Widerstände. Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 538—549, Pogg. Ann. 139, 89—108, Phil. Mag. (4), 39, 161—169.
1869. Über den Einfluß tönender Schwingungen auf den Magnetismus des Eisens. Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 857—861, Pogg. Ann. 139, 499—502, Phil. Mag. (4), 39, 298—400.
1870. Über den Ausfluß des Quecksilbers aus gläsernen Capillarröhren. Pogg. Ann. (Nachweis der Abwesenheit von wahrnehmbarer Gleitung an den Wänden.) 140, 367—379.
1872. Über die Zerstreuung der Elektrizität in Gasen. Pogg. Ann. 146, 578—592, Nuovo Cimento (2), 7/8, 226—253.
1875. Über Reibung und Wärmeleitung verdünnter Gase (mit Kundt). Monatsberichte der Preuß. Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1875, 160—173, auch erschienen in Pogg. Ann. (3 Abhandlungen), 155, 337—365, 525—550, 156, 177—211.
1875. Über die spezifische Wärme des Quecksilbergases (mit Kundt). Berichte der Deutschen Chem. Gesellsch. z. Berlin 1875, 8, 945 und 1514—1516; Pogg. Ann. 157, 353—369.
1876. Über die Gleitung der Gase an Glaswänden. Pogg. Ann. 159, 399—415.
1877. Über eine Methode zur Untersuchung der gleitenden Reibung fester Körper (mit Babo). Wied. Ann. 2, 406—418.
1878. Über das Gleichgewicht eines Systems ausgedehnter Moleküle und die Theorie der elastischen Nachwirkung. Berichte d. naturforschenden Gesellschaft z. Freiburg i. Br., 7, 1—37, Wied. Ann. 4, 232—249.
1878. Zur Theorie der elastischen Nachwirkung. Naturf. 11, 292—293.
1880. Über die Torsion. Berichte der naturforschenden Gesellsch. z. Freiburg 1879, 7, 444—499, Wied. Ann. 10, 13—34.
1881. Magnetische Untersuchungen I. Über einige Wirkungen der Coerzitivkraft (Nachweis der Hysteresiswärme). Freiburg. Verh. 8, 309. Wied. Ann. 13, 141—164.
1881. Zur Theorie des Voltaschen Elementes und der Polarisation. Wied. Ann. 38, 321—344, Tagebl. d. 62. Naturf. Vers. Heidelberg 303.
1882. Über den Zusammenhang zwischen Viscosität und Dichtigkeit bei flüssigen, insbesondere gasförmig flüssigen Körpern (mit von Babo). Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch., Mai, 509—514, Ber. d. naturf. Ges. zu Freiburg 8, 14 u. ff., Wied. Ann. 17, 390—427.
1883. Über die Wärme, welche durch periodisch wechselnde magnetisierende Kräfte im Eisen erzeugt wird (mit L. Hönig). Festschr. d. 56. Versamml. deutscher Naturf. u. Ärzte, Wied. Ann. 20, 814—835.
1884. Über die Elektrolyse des festen Glases. Wied. Ann. 21, 622—646, Freiburg. Verh. 8, 2.
1884. Über den Einfluß der Dichtigkeit auf die Viscosität tropfbarer Flüssigkeiten (mit J. Sachs). Wied. Ann. 22, 518—522.
1886. Über das Gewicht und die Ursache der Wasserschicht bei Glas und anderen Körpern (mit J. Ihmori). Wied. Ann. 27, 481—507.
1886. Bemerkungen über den Druck gesättigten Dampfes. Wied. Ann. 28, 394—400, Tagbl. d. Naturf. Vers. 1885, 358—359.
1887. Über das Kathodengefälle bei der Glimmentladung. Wied. Ann. 31, 545—594.
1888. Bemerkungen zu der Arbeit: Über eine experimentelle Bestimmung der Magnetisierungsarbeit von A. Waßmuth und C. A. Schilling. Wien. Ber. 96 (2), 1256—1257, Wien. Anz. 24, 292.
1888. Über eine besondere Art von elektrischer Polarisation in Kristallen (mit Tegetmeier). Wied. Ann. 32, 442—452.
1888. Über die elektrolytische Leitung des Bergkrystalls (mit Tegetmeier). Wied. Ann. 35, 455—467, Gött. Nachr. 1888, 210.
1889. Über die elektrolytische Leitung des Glases und des Bergkrystalls nach neuen Versuchen von Herrn F. Tegetmeier. Tagebl. d. 62. Vers. d. Naturf. Heidelberg, 202.
1889. Über die magnetische Hysteresis. Elektrot. ZS. 10, 186—189.
1889. Über inconstante galvanische Elemente. 61. Vers. d. Naturf. u. Ärzte, Heidelberg 1889, Chem. Zentralbl. 2, 577—578.
1890. Über eine Methode, Natriummetall in Geißlersche Röhren einzuführen und über das Kathodengefälle bei der Glimmentladung. Pogg. Ann. 40, 1—18.
1890. Zur Theorie galvanischer Polarisation, insbesondere der kapillarelektischen Erscheinungen. Wied. Ann. 41, 1—48.
1892. Über die elektrische Kraft an den Elektroden und die Elektrisierung des Gases bei der Glimmentladung. Wied. Ann. 45, 1—27.
1892. Beziehungen zw. chemischer Constitution und physikal. Eigenschaften bei tropfbaren Flüssigkeiten. Verh. d. Naturf. Ges. Basel, 57, Arch. sc. phys. (3), 28, 338—339.
1895. Über elektrische Leitung und Konvektion in schwach leitenden verdünnten Lösungen. Wied. Ann. 54, 396—433.
1895. Notiz über die Wirkung der Glimmentladung auf Bleioxyd. Wied. Ann. 54, 727—730.
1895. Über die Wärmeleitung und Temperatur der in Geißlerschen Röhren leuchtenden Gase. Wied. Ann. 54, 265—275.



1896. Über die Wirkung des Lichts auf die Funkenentladung. Wied. Ann. 59, 1—16, Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 223—236.
1896. Über das Verhalten sogenannter unpolarisierbarer Elektroden gegen Wechselstrom. Verhandlungen d. Phys. Gesellsch. zu Berlin, 15, 120—125.
1897. Über die Elektrisierung der Luft durch Spitzenentladung. Wied. Ann. 63, 411—418.
1897. Über die Verzögerung bei der Funkenentladung. Wied. Ann. 62, 385—395, Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 128—136.
1898. Zur Theorie der capillarelektischen Erscheinungen. Verh. d. Phys. Gesellsch. zu Berlin 17, 24—32.
1898. Demonstration der Verzögerung bei der Funkenentladung. Verh. der Physikal. Gesellsch. zu Berlin 17, 92.
1898. Über die Entstehung der Spitzenentladung. Wied. Ann. 66, 652—659, Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 236—242.
1898. Ein Vorlesungsversuch zur Demonstration der Änderung des Luftdruckes mit der Höhe. Verh. der Physikal. Gesellsch. zu Berlin 17, 21.
1898. Demonstration eines von R. Wood verfertigten Soretischen Kreisgitters. Verh. Phys. Ges. 17, 73.
1899. Bemerkung über die Temperatur der Sonne. Verh. der Deutschen Physikal. Ges. 1, 50—52.
1899. Über das Verhalten sogenannter unpolarisierbarer Elektroden gegen Wechselstrom. Wied. Ann. 67, 493—499.
1899. Über die Spitzenentladung (2. Mitteilung). Wied. Ann. 67, 69—83.
1899. Über positive und negative Spitzenentladung in reinen Gasen. Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 770—778.
1899. Referat über die Wärmeeinheit. Naturforscherversammlung in München. S. A. 19 S., Barth, Leipzig. Phys. ZS. 1, 171—173.
1900. Über die Wirkung der Strahlung auf die Funkenentladung. Verh. der Deutschen Physikal. Gesellsch. 2, 212—217, Ann. d. Phys. (4), 5, 811—817.
1900. Über die Bildung des Ozons bei der Spitzenentladung in Sauerstoff. Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 712—721.
1900. Über die Wärmeleitung verdünnter Gase (Einkleitung zu einer Arbeit von E. Gehrcke). Ann. d. Phys. (4), 2, 102—114.
1900. Sur L'Hystérésis. Congrès international de physique à Paris 2, 519—531. Naturf. Vers. in Aachen, Phys. ZS. 2, 368—369, 1907.
1900. Über die Spitzenentladung (3. Mitteilung). Ann. d. Phys. (4), 2, 295—316.
1901. Bemerkung zu der Abhandlung des Herrn Egon v. Schweidler: Über das Verhalten flüssiger Dielektrika beim Durchgang eines elektrischen Stromes. Ann. d. Phys. (4), 4, 684, 648.
1901. Über die Polarisationskapazität des Platins. Ann. d. Phys. (4), 6, 125—135, Verh. d. D. Phys. Ges. 3, 102—112.
1901. Die magnetische Hysterisis. ZS. f. Unterr. 14, 174—178.
1901. Remarques au sujet du rapport de MM. Bichat et Swyngedauw. Congr. intern. de phys. 4, 117—118.
1902. Über die Bildung des Ozons bei der Spitzenentladung in Sauerstoff. Ann. d. Phys. (4), 9, 781—792.
1902. Über leuchtenden elektrischen Wind. Verh. der Deutschen Physik. Gesellsch. 4, 294—295, Phys. ZS. 4, 40.
1902. Über spontane Desozonisierung (zwei Ozonmoleküle sind bei der elementaren Zerfallreaktion beteiligt). Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 1901, 1126—1129, Ann. d. Phys. (4), 9, 1286—1303, Berichtigung ebenda 13, 1080, 1904.
1902. Über den Einfluß der Temperatur auf die Spitzenentladung. Verh. der Deutschen Physikal. Gesellsch., 294, Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 1062—1067.
1902. Über den Geschwindigkeitsverlust, welchen die Kathodenstrahlen beim Durchgang durch dünne Metallschichten erleiden (mitgeteilt nach Versuchen von G. Leithäuser). Ber. d. Preuß. Akad. d. Wiss. 267—269.
1903. Über leuchtenden elektrischen Wind. Ann. der Phys. (4), 10, 180—188, Verh. 74. Vers. D. Naturf. u. Ärzte, Karlsbad, 2 (1), 16—17, 1903.
1903. Zur Theorie der Siemensschen Ozonisierungsapparate. Verh. der Deutschen Physikal. Gesellsch., 404—414.
1903. Bemerkungen über die chem. Wirkung der stillen Entladung. Physik. ZS. S. 23.
1903. Zum Verhalten sogen. unpolarisierbarer Elektroden gegen Wechselstrom (mit B. Straßer). Verh. der Deutschen Physikal. Gesellsch. 5, 269—275.
1904. Über den Durchgang der Kathodenstrahlen durch Metalle. Verh. der Deutschen Physikal. Gesellsch., 6, 9—32.
1904. Über die Ozonisierung des Sauerstoffs durch stille elektrische Entladungen. Ann. d. Phys. (4), 13, 464—476, Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 1903, 1011—1015.
1904. Über den spektralanalytischen Nachweis des Argons in der atmosphärischen Luft (nach Versuchen des Herrn Lilienfeld). Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 1196—1197.
1904. Bemerkung über die Spitzenentladung. Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 6, 209—210.
1904. Über die Ursache des Voltaeffektes (mit Greinacher). Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 850—855.
1905. Über die Ozonisierung des Sauerstoffs und der atmosphärischen Luft durch die Entladung aus metallischen Spitzen. Ann. d. Phys. (4), 17, 1—29.
1905. Über die Reflexion von Kathodenstrahlen an dünnen Metallblättchen (nach Versuchen von S. Williams). Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 458—464, Ann. d. Phys. (4), 17, 977—985.
1905. Über die Ozonisierung des Sauerstoffs durch Spitzenentladung. Ber. d. Preuß. Akad. der Wissensch. 465.
1905. Bemerkungen über die chemische Wirkung der stillen Entladung. Verh. Ges. D. Naturf. u. Ärzte, Meran 1905, 2, (1), 32, 1906. Verh. D. Phys. Ges. 7, 291, Phys. ZS. 7, 23, 1906.
1905. Über die Wirkung der Bestrahlung, den Einfluß der Temperatur und das Verhalten der Halogene bei der Spitzenentladung (nach Versuchen von Gorton). Ann. d. Phys. (4), 18, 128—139, Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 7, 217—224.
1906. Über die Ozonisierung des Sauerstoffs und der atmosphärischen Luft. Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 507.

1906. Bemerkungen zu der Arbeit des Herrn *Delere* über die Wärmeentwicklung bei zyklischer Magnetisierung von Eisenkernen. Ann. d. Phys. (4), 19, 643—644.
1906. Über die Zersetzung des Kohlendioxyds durch Spitzenentladung (von *T. Noda*). Ann. d. Phys. (4), 19, 1—13.
1906. Über die Darstellung des Ozons aus Sauerstoff und atmosphärischer Luft durch stille Gleichstromentladung aus metallischen Elektroden. III. (Mit *Leithäuser*.) Ann. d. Phys. (4), 20, 734—742.
1906. Über die Oxydation des Stickstoffs bei der Wirkung der stillen Entladung auf die atmosphärische Luft. IV. (Mit *Leithäuser*.) Ann. d. Phys. (4), 20, 775—750.
1906. Über den Einfluß der Feuchtigkeit und der Temperatur auf die Ozonisierung des Sauerstoffs und der atmosphärischen Luft. V. (Mit *Leithäuser*.) Ann. d. Phys. (4), 20, 751—758, ZS. f. Instrkde. 27, 121, 1907.
1907. Über die Oxydation des Stickstoffs bei der Wirkung der stillen Entladung auf atmosphärische Luft (mit *Leithäuser*). Ann. d. Phys. (4), 23, 209—225, Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 229—239.
1907. Über das Vakuumbolometer (mit *W. Leithäuser* und *Johansen*). Ann. d. Phys. (4), 24, 25—42.
1907. Einige Bemerkungen über photochemische Wirkung. Verh. der Deutschen Physikal. Gesellsch. 9, 753—754.
1908. Über Ozonröhren. Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 721.
1909. Über die Analyse der Stickoxyde durch ihre Absorptionsspektren im Ultrarot (mit *Leithäuser*). Ann. d. Phys. (4), 28, 313—325, Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 1908, 148—153.
1909. Leistungsmessungen an Ozonröhren. VI. (Mit *Leithäuser*.) Ann. d. Phys. (4), 28, 1—16.
1909. Über chemische Reaktionen, welche durch die stille Entladung in gasförmigen Körpern herbeigeführt werden. Jahrbuch d. Radioaktivität u. Elektronik 6, 181—229.
1909. Über die Darstellung des Ozons aus Sauerstoff und atmosphärischer Luft durch Ozonröhren (mit *Leithäuser*). VIII. Ann. d. Phys. (4), 28, 17—36.
1909. Bemerkungen über photochemische Wirkung II. Verh. der Deutschen Physikal. Gesellsch. 11, 654—660.
1910. Über die Konstante  $c$  des Strahlungsgesetzes schwarzer Körper (mit *Leithäuser*). Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 925.
1911. Über den Energieumsatz bei photochemischen Vorgängen in Gasen I. Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 746—754.
1911. Sur la vérification expérimentale de la formule de Planck pour le rayonnement du corps noir. Solvay-Congrès à Bruxelles. Deutsch von *A. Eucken*. Abh. d. Bunsenges. Nr. 7.
1912. Über den Energieumsatz bei photochemischen Vorgängen in Gasen II. Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 216—225.
1912. Über den Energieumsatz bei photochemischen Vorgängen in Gasen III. Photochem. Desozonisierung. Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 665.
1913. Eichung von radioaktiven Präparaten durch die Physikalisch-Technische Reichsanstalt. ZS. f. Instrkde. 33, 259—260.
1913. Über die Diffusion von Metallen in Glas. Ann. d. Phys. (4), 40, 327—334.
1913. Bemerkungen zu der Aufspaltung der Spektrallinien im elektrischen Feld. Verh. d. Deutschen Phys. Gesellsch. 15, 1259—1266.
1913. Über die Konstante  $c$  des Wien-Planckschen Strahlungsgesetzes (mit *Leithäuser*, *Hupka*, *C. Müller*). Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 35—43.
1913. Über die Konstante  $c$  des Wien-Planckschen Strahlungsgesetzes (mit *G. Leithäuser*, *E. Hupka*, *C. Müller*). Ann. d. Phys. (4), 40, 609—634.
1914. Über den Energieumsatz bei photochemischen Vorgängen in Gasen. IV. Einfluß der Wellenlänge und des Drucks auf die photochemische Ozonisierung. Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 872—885.
1915. Über Nachwirkung von Aneroiden (mit *Heuse*). Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 373.
1915. Über den Energieumsatz bei photochemischen Vorgängen in Gasen V. Absorption ultravioletter Strahlung durch Sauerstoff. Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 230—242.
1915. Elastische Nachwirkung und elastische Hysterisis (mit *W. Heuse*). Verh. der Deutschen Physikal. Gesellsch. 17, 206—213.
1915. Ozonisierung flüssigen Sauerstoffs durch Bestrahlung. Verh. d. Deutschen Physikal. Gesellsch. 17, 194—197.
1915. Über die Konstante  $c$  des Wien-Planckschen Strahlungsgesetzes (mit *C. Müller*). Ann. d. Phys. (4), 48, 410—432.
1916. Über den Energieumsatz bei photochemischen Vorgängen in Gasen VI. Photolyse des Bromwasserstoffs. Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 314—329.
1916. Über einige Eigenschaften des Bolometers (mit *C. Müller*). Verh. d. Deutschen Physikal. Gesellsch. 18, 245—251.
1917. Über die Anwendung der Quantenhypothese auf die Photochemie. Naturwissensch. 5, 489—494.
1917. Die Theorie der photochemischen Vorgänge. Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 345.
1917. Über eine rationelle Lichteinheit. Verh. der Deutschen Physikal. Gesellsch. 19, 3—10.
1918. Über den Energieumsatz bei photochemischen Vorgängen in Gasen VII. Photolyse des Jodwasserstoffs. Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 300—317.
1918. Über den Energieumsatz bei photochemischen Vorgängen in Gasen VIII. Die Photolyse wäßriger Lösungen und das photochemische Äquivalentgesetz. Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 1228—1246.
1919. Über den Energieumsatz bei photochemischen Vorgängen IX. Photochemische Umwandlung isomerer Körper ineinander. Ber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 960—974.
1919. Über Aneroide (mit *W. Heuse*). ZS. f. Instrumentenkunde 39, 41—55.
1920. Quantentheoretische Grundlagen der Photochemie. ZS. f. Elektrochemie 26, 54—59.
1921. Zum Energieumsatz bei photochemischen Vorgängen in Gasen. ZS. f. Elektrochemie 27, 133—142.



## Hat der „Sympathicus“ eine direkte Einwirkung auf den quergestreiften Muskel?<sup>1)</sup>

Von J. N. Langley, Cambridge.

### I.

Eine einmal eingewurzelte Theorie ist schwer auszurotten, deshalb sollte sie der Kritik so früh als möglich unterworfen werden. Die Geschichte der Physiologie zeigt, daß die erste Fassung einer Theorie selten ganz korrekt ist; aber sie zeigt auch, daß im allgemeinen ein Körnchen Wahrheit darin steckt. Die Theorie, welche den Gegenstand dieses Aufsatzes bildet, hat zu vielen Kontroversen Anlaß gegeben. Sie ist von einigen Beobachtern endgültig angenommen, wird von anderen bezweifelt und von einigen wenigen zurückgewiesen. In der folgenden kurzen Darstellung der Frage können natürlich nur ihre wichtigsten Grundlagen erörtert werden.

Die Theorie, daß sympathische Nerven eine Einwirkung auf den Skelettmuskel haben, knüpft sich an die Tatsache, daß in manchen Fällen im Muskel außer der gewöhnlichen Nervenendigung noch eine zweite, von einer marklosen Faser gebildete Nervenendigung sich findet. Ihr Vorkommen in den Muskeln des Frosches und der Eidechse wurde schon 1882 von *Bremer* festgestellt. *Perroncito*, *Gemelli*, *Botezat* u. a. konnten seine Beobachtung an niederen Wirbeltieren bis zu einem gewissen Grade bestätigen; aber diese Dinge galten nur als histologische Kuriositäten, bis *Boeke* (in den Jahren 1909 bis 1913) seine mit Hilfe der Neurofibrillenmethode *Bielschowskys* dargestellten Endringe und Endnetzchen markloser Nervenfasern im Skelettmuskel beschrieb. *Boeke* nannte sie akzessorische Nervenendigungen. Gewöhnlich, aber nicht immer, endigten sie in derselben Gegend wie die motorische Nervenfasern. *Boeke* scheint anzunehmen, daß seine akzessorische Nervenendigung spezifisch ist und nur den Nervenfasern zukommt, welche in ihrem ganzen Verlaufe marklos sind. Diese Schlußfolgerung würde nicht mit den Resultaten früherer Beobachter übereinstimmen. Die akzessorische Nervenendigung *Boekes* ist offenbar die gleiche wie die einfachere Form der von *Bremer* abgebildeten Enddolden, da der Unterschied in der Erscheinungsform wohl nur der unterschiedlichen Technik der Darstellung zugeschrieben werden darf. *Bremer* zeigt an den Zungenmuskeln niederer Wirbeltiere, daß schmale markhaltige Fasern kurz vor ihrem Ende marklos werden und Enddolden von derselben Art bilden, wie marklose Fasern, welche nicht bis zu markhaltigen verfolgt werden können. Ferner beschreiben *Bremer* und andere Untersucher eine

marklose Faser — die ultraterminale Faser von *Ruffini* —, welche von einer gewöhnlichen motorischen Nervenendigung entspringt und eine einfache Nervenendigung an einer oder mehreren anderen Muskelfasern bildet. Die von diesen ultraterminalen Fasern gebildeten Endigungen scheinen manchmal in keiner Weise von den „akzessorischen“ Nervenendigungen unterscheidbar zu sein. Schließlich ist es zweifelhaft, ob die einfach geformten Endigungen sensibler Nerven, wie sie von *Dogiel* beschrieben worden sind, mit Sicherheit von akzessorischen Nervenendigungen unterschieden werden können. Sehr verschieden können sie jedenfalls nicht sein, denn *Boeke* vermutet, daß einige der von anderen als sensorische Nerven beschriebenen Endigungen wohl akzessorische Nervenendigungen sein dürften. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß — wie es alle möglichen Übergänge bei den typischen Endplatten und Endauffaserungen der gewöhnlichen motorischen Nervenendigungen gibt — so auch alle möglichen Übergänge zwischen den Extremen der Endigungen markloser Fasern existieren.

Mit Rücksicht auf das eben Gesagte ist es schwierig, mit Sicherheit anzugeben, wie viele der akzessorischen Nervenendigungen wirklich von Fasern gebildet werden, welche in ihrem ganzen Verlaufe marklos sind. Die Kriterien, die man anwenden kann, sind die, ob die Fibrillen bis zu einer markhaltigen Faser verfolgt werden können, und ob die Endigung innerhalb der Muskelscheide (hypolemmal) liegt. Es ist klar, daß man die Faser häufig nicht weit genug verfolgen kann, um über den ersten Punkt Sicherheit zu gewinnen; und wenn akzessorische Endigungen an der Oberfläche einer Faser beobachtet werden, ohne daß an der nämlichen Stelle eine Anhäufung von Muskelplasma sich findet, wird es häufig Ansichtssache sein, ob sie in die Muskelmasse eindringt oder der Muskelscheide aufliegt.

Abgesehen von all diesen Erwägungen hat man wenig Erfahrungen darüber, wie groß eigentlich die Zahl markloser Nervenfasern ist, die im quergestreiften Muskel endigen. Die meisten Beobachtungen sind entweder einem Zufall zu verdanken oder sind nur darauf gerichtet gewesen, die Existenz solcher Endigungen überhaupt zu erweisen und lassen das quantitative Moment unberücksichtigt. *Bremer* fand in den Zungenmuskeln viele, aber er scheint im Sternocutaneus und den Skelettmuskeln des Frosches nur wenige gesehen zu haben. Die meisten Beobachter, welche marklose Fasern im Muskel gefunden haben, beschreiben sie als Abkömmlinge einer markhaltigen Faser oder als in derselben Scheide befindlich wie die markhaltigen, so daß sie weiter zentralwärts aus der markhaltigen abgespalten sein können. *Boeke* hat allerdings niemals seine marklose Faser in derselben Scheide wie die markhaltige gefunden, so daß auf die

<sup>1)</sup> Die Schriftleitung verdankt die Übersetzung aus dem Original Herrn Professor Dr. *Erich Frank* in Breslau.

Endigungen, die er beschreibt, die eben geäußerte Vermutung nicht zutreffen kann. Methylenblau bringt mit Sicherheit die Nervenendigungen im Sartorius des Frosches zur Anschauung, aber soviel wir wissen, sind marklose Fasern nicht darunter, obwohl doch die marklosen Plexus der oberflächlichen Blutgefäße durch die vitale Färbung tadellos dargestellt werden.

Einige Zweifel an einer allgemeinen Innervation des Muskels durch sympathische Fasern werden auch dadurch geweckt, daß die Anzahl der marklosen Fasern in den Muskelnerven und in den Hautnerven, wie ich kürzlich festgestellt habe, außerordentlich verschieden ist. In den Hautnerven bilden die marklosen Fasern einen beträchtlichen Anteil des Querschnittes, in den Muskelnerven einen sehr geringfügigen. Wenn die marklosen Fasern eines Muskelnerven sowohl die Muskelfasern, als auch die Blutgefäße eines Muskels innervieren, dann muß eine Anordnung verwirklicht sein, welche in den Hautnerven jedenfalls nicht vorhanden ist. Man hat in einigen Fällen beschrieben, daß eine marklose Faser einen Zweig an ein Blutgefäß und einen anderen an eine Muskelfaser abgibt. Könnte man das als eine allgemeine Regel betrachten, so würde man damit zu rechnen haben, daß — welche Einwirkung das Zentralnervensystem auch auf den Muskel hat — diese Einwirkung an Intensität sich ändern müßte, je nach dem auf die Blutgefäße ausgeübten Einfluß.

Andererseits ist ein Punkt übersehen worden, welcher sehr zugunsten einer allgemeinen Innervation durch sympathische Nerven sprechen könnte. In den Beschreibungen der Nervenendigungen sind alle markhaltigen Fasern ohne weiteres als somatische (nicht autonome) Nervenfasern betrachtet worden. Wie schon oben ausgeführt, sind schmale, markhaltige Fasern, welche ihr Mark erst ganz am Ende verlieren, ziemlich häufig in den Muskeln niederer Wirbeltiere und bilden ganz ähnliche Endigungen wie die marklosen. Sie sind dann entweder als sensible oder als gewöhnliche motorische Fasern betrachtet worden. Aber bei den niederen Wirbeltieren sind die postganglionären Fasern im größten Teil ihres Verlaufes markhaltig, und ähnliches kommt auch bei den Säugern vor. So besteht also die Möglichkeit, daß *die marklosen Endfaserchen, welche von schmalen markhaltigen entspringen, sympathischen Ursprungs sind*, und wenn dem so sein sollte, würde *Bremers* Beschreibung eine beträchtliche Menge sympathischer oder anderer autonomer Fasern anzeigen, zum mindesten in den Zungenmuskeln.

Die vorstehenden Bemerkungen lassen erkennen, daß man nur schwierig endgültige Schlüsse über die sympathische Innervation aus Beobachtungen an normalen Muskeln ziehen kann. *Eine sichere Methode, um zu entscheiden, ob eine marklose Endfaser zum Sympathicus*

*gehört oder nicht, ist die Degenerationsmethode.* Sie wurde von *Boeke* (1913) und später von *Agduhr* (1919) sowie von *Boeke* und *Dusser de Barenne* (1919) angewendet. *Boekes* erste Beobachtungen beziehen sich auf die Augenmuskeln bei Säugern, bei welchen die Nerven innerhalb des Schädels durchschnitten wurden. Es blieben akzessorische Nervenendigungen nach der Degeneration der gewöhnlichen Nervenendigungen bestehen. Die Resultate bieten einige Angriffsflächen, welche in den späteren Experimenten, auf die wir uns beschränken können, nicht mehr vorhanden sind. *Agduhr* durchschnitt die Nervenwurzeln, welche Äste an den Armplexus abgeben. Der Schnitt wurde ein wenig peripher vom Spinalganglion geführt. *Boeke* und *Dusser de Barenne* extirpierten die Spinalganglien samt den vorderen Wurzeln von vier aufeinanderfolgenden Brustnerven. In beiden Experimenten waren also die motorischen Nervenfasern und die sensiblen Hinterwurzelfasern zerstört, in beiden blieben akzessorische Nervenendigungen, die aus marklosen Faserchen stammten, übrig. Diese akzessorischen Endigungen konnten also nur aus sympathischen (Grenzstrang-) Nerven hervorgehen. Es bleibt aber noch die Frage, ob diese akzessorischen Endigungen auch wirklich innerhalb der Muskelscheide liegen. Ob eine akzessorische Nervenendigung in das Muskelplasma eindringt oder der Muskelscheide aufliegt, ist leichter zu entscheiden, wenn sie in der Gegend der gewöhnlichen motorischen Nervenendigung liegt, als wenn sie an anderer Stelle endigt, und zum mindesten eines der Bilder *Agduhrs* läßt mit Sicherheit die Endigung im Inneren des Muskelplasmas erkennen. Aber weder die Arbeit von *Agduhr*, noch die von *Boeke* und *Dusser de Barenne* hinterläßt den Eindruck, daß sehr viele akzessorische Nervenfasern da sind. Mangelhafte Färbbarkeit ist natürlich noch kein Beweis gegen die Anwesenheit der Endigung. Andererseits bedeutet unvollständige Färbung, daß wahrscheinlich auch die Gefäßnervenplexus nur teilweise dargestellt werden, und wenn dies der Fall ist, dann könnten Ringe, welche zu epilemmalen Gefäßnerven gehören, als endomusculäre Endringe erscheinen.

Ein anderer Punkt muß noch erwähnt werden. Die pseudomotorische Aktion der Chorda tympani auf die Zungenmuskeln ist darauf zurückgeführt worden, daß diese akzessorische Nervenendigungen besitzen. Nach dieser Theorie müßten also sogar dreifache Nervenendigungen verschiedenen Ursprungs in den Muskelfasern sein, wofern man nicht annimmt, daß der Sympathicus mit der Innervation der Zungenmuskeln nichts zu tun hat.

Zusammenfassend möchte ich sagen, daß beim ersten Anschein die Existenz sympathischer Nervenendigungen im Muskel sichergestellt zu sein scheint, daß aber bei näherer Prüfung die Sache sich doch als illusorisch erweisen könnte.



## II.

Die experimentelle Seite der Frage wurde zuerst von *de Boer* erforscht. Er nahm an, daß der normale Muskeltonus durch Nervenimpulse auf dem Wege des Sympathicus unterhalten würde, nicht durch Impulse längs der zerebrospinalen (somatischen) Nerven. Späterhin wurde diese Theorie auf alle Formen dauernder Kontraktion ausgedehnt, die nicht zweifellos tetanischer Natur waren. Es ist wohl nicht notwendig, die Anschauung, daß tonische Kontraktionen lediglich durch den Sympathicus hervorgerufen werden können, zu erörtern. Gegenwärtig ist kein ernstlicher Hinweis vorhanden, daß irgendeine Form tonischer Kontraktion durch den Sympathicus hervorgerufen wird, welche nicht auch von zerebrospinalen Nerven erzeugt werden könnte, soweit wenigstens die Kontraktion mit dem Auge oder durch Registrierapparate wahrgenommen werden kann.

*Der Stand der Frage ist gegenwärtig nicht der, ob der Sympathicus allein den Tonus des Muskels beherrscht, sondern ob er überhaupt einen Einfluß auf die tonische Kontraktion hat.*

Die Experimente *de Boers* am Frosch schienen zu zeigen, daß der Sympathicus den Tonus der Muskeln aufrecht erhält. Er fand einen leichten Tonusverlust an den hinteren Gliedmaßen, wenn er, nachdem er zuvor die Eingeweide des Unterleibes entfernt hatte, die Verbindungsäste des Sympathicus zu denjenigen Nerven durchschnitt, welche schließlich den Hüftnerven zusammensetzen. Bei diesen Experimenten konnte er mit Recht hervorheben, daß der Tonusverlust nicht durch Unterbrechung des sensiblen Teils eines Reflexbogens, etwa durch Aufhebung afferenter Impulse von den Eingeweiden, ebensowenig infolge Durchschneidung von Gefäßnerven bedingt sein konnte. Er fand weiter, daß nachträgliche Durchschneidung des Hüftnerven den Tonus nicht noch weiter sinken ließ. Das ist ein unbefriedigender Punkt des Experimentes, denn man hat guten Grund, zu glauben, daß die zerebrospinalen Fasern des Hüftnerven an der Erhaltung des Tonus beteiligt sind. Spätere Experimente ergaben nicht ganz einheitliche Resultate. Man kann aus den widersprechenden Ergebnissen den Schluß ziehen, daß der Einfluß, den der Sympathicus beim Frosch auf den Muskeltonus haben könnte, in jedem Fall sehr gering ist.

*Jansma* fand einen sehr geringfügigen Effekt, wenn er die Rami communicantes des Sympathicus zum Hüftnerven durchschnitt, *Kuno* bemerkte überhaupt nichts, *Salck* und *Weitbrecht* erhielten ungleichmäßige Resultate. *Monmary* nahm an, daß der Sehnenreflex auf der Seite, auf welcher die sympathischen Zweige durchschnitten waren, schwächer sei, aber seine Versuche lassen einen großen experimentellen Irrtum vermuten.

Zahlreiche Experimente sind auch an Säugetieren ausgeführt worden. Bei diesen Versuchen

ist ebenso wie in manchen Froschexperimenten der mögliche Effekt der Durchschneidung afferenter Fasern nicht ausgeschaltet worden. Am wenigsten dürften afferente Fasern von den Eingeweiden noch bei den Untersuchungen über den Tonus des Ohres durchschnitten worden sein. Aber Entfernung des oberen Halsganglions des Sympathicus wird immer mit Durchschneidung von einigen Vagusfasern einhergehen; man kann bei nicht ganz besonders sorgfältiger Durchführung eine ganze Reihe solcher Fasern schädigen. Ferner ist der Effekt der Gefäßdilatation, welche bei einer Durchschneidung des Sympathicus hervorgerufen wird, nicht ausgeschaltet. Es entsteht also durch den vermehrten Blutzufluß sofort ein Temperaturanstieg, welcher einen Tonusnachlaß hervorrufen kann. Die Experimente haben sehr verschiedene Resultate ergeben, im ganzen aber scheinen sie zu zeigen, daß Durchschneidung des Sympathicus einen leichten Tonusverlust hervorruft. Die Ursache dieses Tonusverlustes ist aber noch nicht klargestellt. Er ist jedenfalls nur beim ruhenden Tiere zu beobachten. Da der Tonusverlust die Bewegungen des Tieres nicht deutlich beeinträchtigt, so kann ihm eigentlich nur eine geringe physiologische Bedeutung beigemessen werden.

*De Boer* stellte fest, daß Exstirpation des Bauchsympathicus bei Katzen den Tonus an den hinteren Gliedmaßen und am Schwanz herabsetzt. *Dusser de Barenne* bestätigte den Befund und fand, daß der Zustand des herabgesetzten Tonus 4—6 Wochen dauerte. *Negrin y Lopez* und *v. Brücke* bemerkten ein Absinken des Tonus in etwa der Hälfte ihrer Fälle, doch verschwand die Schaffheit der Glieder in 1 oder 2 Tagen. *Cobb* bemerkte bei Durchschneidung des Sympathicus zwischen dem 4. und 5. Lendenganglion keinen Einfluß auf die hinteren Extremitäten und den Schwanz. *Duccheschi* bemerkte einen leichten Tonusverlust an den Muskeln des Kaninchenohres nach Durchschneidung des obersten Zervikalganglions, der zwar in einigen Wochen verschwand, aber noch 6 Monate — wenn man die Ohren belastete — beobachtet werden konnte. *Rießer* suchte die Theorie des sympathischen Tonus zu stützen, aber seine Experimente geben nicht eigentlich einen direkten Hinweis. *Mosca* gibt eine leichte Einwirkung des Halsympathicus auf den Tonus des Kaninchenohres an.

Diese Experimente beziehen sich alle auf den normalen Tonus. Bei der „Enthirnungsstarre“ fanden *Negrin y Lopez* und *von Brücke* inkonstante Resultate nach der Sympathicusdurchschneidung; *von Rynberk* kam zu dem Schlusse, daß die Ausrottung des Sympathicus keinen Einfluß auf diese Art von Starre habe. *Uyeno* konnte nicht finden, daß die Enthirnungsstarre in den vorderen Gliedmaßen nachließ, wenn Nikotin auf das Ganglion stellatum getupft wurde. *Kahn* sah keinen Einfluß auf den Umklammerungs-

reflex des Frosches, wenn er den oberen Teil des Sympathicus fortnahm.

Gegen die Theorie, daß der Sympathicus den Muskeltonus kontrolliert, spricht die Tatsache, daß *Reizung sympathischer Nerven niemals den Tonus erhöht*. Ein weiterer gewichtiger Einwand ist der, daß Adrenalin den Muskeltonus nicht erhöht, obwohl es nach mehreren Untersuchern die Ermüdung herabsetzt. Es mag betont sein, daß diese Tatsachen auch gegen eine unmittelbare Beeinflussung des Tonus durch Wechsel der Gefäßfüllung sprechen.

Eine andere Theorie über die Einwirkung der sympathischen Nerven auf den Muskel besagt, daß diese den Eiweißstoffwechsel beherrschen und dadurch eine vermehrte Bildung von Kreatin herbeiführen. Nach der ersten Fassung der Theorie sollte die gesamte Kreatinbildung, soweit sie überhaupt unter Nerveneinflüssen steht, vom Sympathicus veranlaßt sein. Diese Theorie wurde abgeleitet aus der Schlußfolgerung, zu der *Pekelharing* und *Hoogenhuyze* gekommen waren, nämlich, daß nur tonische Kontraktion die Kreatinbildung vermehre, im Verein mit der anderen Theorie, daß jede tonische Kontraktion sympathischen Ursprungs sei. Dieser Schluß ist aber hinfällig, da, wie schon oben erwähnt ist, alle bekannten Formen tonischer Kontraktion bei Wirbeltieren auch von zerebrospinalen (somatischen) Nerven hervorgerufen werden können. Es gibt auch direkte Hinweise, daß die Kreatinbildung im Muskel nicht nur vom Sympathicus beherrscht wird. *Pekelharing* und *Hoogenhuyze* fanden bei enthirnten Katzen, daß die Vernichtung der Entirnungsstarre in den vorderen Gliedmaßen nach Durchschneidung der hinteren Wurzeln ein Absinken des Muskelkreatins im Gefolge hatte. Bei diesem Experiment waren die sympathischen Nerven intakt. *v. Rynberk* fand, daß Entfernung des Ganglions stellatum kein Absinken des Kreatins bei der Enthirnungsstarre der Katze herbeiführte. Nimmt man diese beiden Ergebnisse als gültig an, so folgt daraus, daß in den Experimenten von *Pekelharing* und *Hoogenhuyze* das Absinken des Kreatins mindestens zum Teil auf den Verlust des zerebrospinal bedingten Tonus zurückzuführen ist. Nach *Kahn* findet sich in den Umklammerungsmuskeln des Frosches während ihrer dauernden Kontraktion nicht mehr Kreatin als in den Beinmuskeln. Es spricht also eigentlich wenig zugunsten der Theorie. *Jansma* fand zwar ein leichtes Absinken des Kreatins im Hinterbein des Frosches, wenn er die Verbindungsgäste des Sympathicus zum Hüftnerven durchschnitt, aber die Schwankung bewegt sich innerhalb der unvermeidlichen Fehlergrenzen, und *Rieffers* Argumentation, daß der Sympathicus die Kreatinbildung bei Kaninchen vermehre, rechnet mit zu vielen zweifelhaften Faktoren.

Ich habe bis jetzt die Experimente von *Kuré* und seinen Mitarbeitern unberücksichtigt ge-

lassen. Sie haben nach Durchschneidung sympathischer Ganglien zahlreiche Versuche an Hunden über den Tonus, über die Kreatinbildung und über die histologischen Veränderungen an den Muskeln des Zwerchfells ausgeführt. In ihren ersten Experimenten — denen von *Kuré*, *Hiramatsu* und *Naito* — sollte der Tonus des Zwerchfells lediglich von sympathischen Impulsen abhängig sein und mit Erregungen, die durch den Phrenicus gingen, überhaupt nichts zu tun haben. Die Annahme, daß der Phrenicus gar keinen Einfluß auf den Tonus habe, ist von *Kuré* und seinen Mitarbeitern aufgegeben worden. Sie messen aber auch weiterhin dem Sympathicus eine große Bedeutung zu. Es ist sehr wahrscheinlich, daß ihre Resultate lediglich ihrer operativen Technik und nicht dem Aufhören sympathischer Nervenimpulse zugeschrieben werden müssen. Das wird bei einer Betrachtung ihrer histologischen Befunde klar werden. Nach *Kuré* und *Shimbo* verursacht Ausrottung der sympathischen Ganglien, welche Fasern zum Zwerchfell senden, bei jungen Tieren Degeneration des Zwerchfellmuskels, aber nur seiner längs der oberen Lendenwirbelsäule aufsteigenden Pfeiler. Nach einem Monat soll dieser Anteil des Zwerchfells sichtlich verschmälert sein und unter dem Mikroskop neben atrophischen und hypertrophischen Fasern eine Anzahl hyalin oder wachsartig degenerierter oder verkalkter Fasern aufweisen. Im ganzen erinnere der Zustand sehr an fortschreitende Muskelatrophie. Nun ist in zahlreichen Experimenten anderer Beobachter nach Ausrottung sympathischer Ganglien niemals eine Änderung der Bewegungsfreiheit des Tieres aufgefallen. In Experimenten, die ich gemeinsam mit *Anderson* anstellte, und in solchen von *Burn* wurde das Ganglion stellatum bei neugeborenen und jungen Katzen entfernt, so daß die Abwesenheit degenerativer Veränderungen nicht etwa nur für erwachsene Tiere gilt. Bei diesen Experimenten betrug die Dauer der Entfernung des Ganglion stellatum 15—25 Minuten. In den Experimenten von *Kuré* und *Shimbo* wurde der Nervus splanchnicus herausgerissen, das Ganglion coeliacum entfernt, die angrenzende Aorta und die Vena cava von Nerven gesäubert, die Niere aus ihrem Bett gezerzt, das erste Lumbalganglion ausgeschnitten und ebenso ein Ganglion, welches mit dem Zwerchfellplexus verknüpft war — alles Operationen, welche wohl einen starken Zug an den Zwerchfellpfeilern ausüben und dadurch eine Degeneration der Muskelfasern hervorgerufen haben können.

Ein anderes Experiment, über das *Kuré* und *Shimbo* berichten, lautet, daß das Herausreißen des Phrenicus größere Atrophie des Diaphragmamuskels hervorruft als die Durchschneidung der Wurzeln des Nerven nahe der Wirbelsäule. Aber das Herausreißen des Phrenicus verursacht erstens eine außerordentlich starke Blutung in der Brusthöhle und ist außerdem mit einem starken Zug an den Muskelseiden verbunden,



und jede Schädigung der Muskelscheide pflegt gewöhnlich eine Degeneration der Muskelfaser im Gefolge zu haben.

Um zu entscheiden, ob das Zentralnervensystem einen Einfluß auf das Zwerchfell mittelst sympathischer Fasern hat, ist es nur notwendig, das Ganglion stellatum von der Rückseite her zu entfernen, da alle präganglionären sympathischen Fasern, welche im Phrenicus verlaufen, dieses Ganglion passieren müssen. Das kann schnell und ohne Eröffnung der Pleura geschehen. In *Kurés* und *Shimbos* Experimenten wurde die Pleura eröffnet, das Ganglion stellatum entfernt, der Sympathicus vom Vagus in der ganzen Länge des Nackens losgelöst — was beim Hunde unweigerlich Schädigung von Vagusfasern hervorruft — und das obere Zervicalganglion entfernt. Die meisten dieser Teileingriffe sind unnötig und komplizieren nicht nur das Experiment, sondern vernachlässigen auch eine wichtige Pflicht jedes Experimentators, nämlich den Tieren jeden unnötigen Schmerz zu ersparen.

Die Beobachtungen von *Kuré* und seinen Mitarbeitern über Tonus und Kreatinbildung im Zwerchfell wurden alle an Hunden, welche in der oben beschriebenen Weise operiert waren, ausgeführt. Es ist deshalb aller Wahrscheinlichkeit nach das Zwerchfell direkt geschädigt worden und irgendwelche Schlüsse können aus diesen Experimenten nicht gezogen werden.

Es gibt noch andere Theorien über die Einwirkung des Sympathicus auf den Muskel, aber bis nicht die Grundtatsachen auf eine befriedigende Basis gestellt worden sind, lohnt es sich kaum, sie zu erörtern. Wir können den gegenwärtigen Stand der Frage der Beziehungen des Sympathicus zum quergestreiften Muskel folgendermaßen zusammenfassen:

Im ganzen ist es wahrscheinlich, daß der Sympathicus eine leichte tonische Einwirkung auf den Muskel ausübt, es ist aber keineswegs sicher, ob das direkt oder auf einem Umwege geschieht. Zugunsten einer direkten Einwirkung spricht, daß der Sympathicus Nervenendigungen im Muskel bildet, aber wir sind nicht genügend über die quantitativen Verhältnisse unterrichtet, und da Reizung des Sympathicus noch niemals den Muskeltonus erhöht hat, so sind wir berechtigt, das endgültige Urteil, ob er den Tonus beeinflusst, aufzuschieben. Der Eiweißstoffwechsel im Muskel samt der Bildung des Kreatins steht nicht nur unter der Kontrolle des sympathischen Systems; die Beweise, daß sie überhaupt von diesem System kontrolliert werden, sind nicht schlüssig.

## Vom Seelenleben gefangener Vögel.

Von Fritz Braun, Danzig-Langfuhr.

Neben mir steht einer der herkömmlichen Behälter für Kanarienvögel, an dessen Tür von außen ein gläsernes Badehäuschen befestigt ist.

In dem Käfig haust ein Haussperling (*Passer domesticus* L.), den die Kinder vor einigen Tagen im Treppenhaus gefangen haben, ein schönes altes Männchen mit aschgrauem Scheitel. Bewege ich mich, so flattert er wie unsinnig gegen die Sprossen; sitze ich still, so spricht er emsig den Hanfkörnern im Futternapf zu.

Nun erhebe ich mich, um das Badehäuschen mit frischem Wasser zu füllen. Da ich deshalb zur Wasserleitung gehen muß, stopfe ich derweilen in die Türöffnung des Käfigs ein Staubtuch, dessen faltiger Bausch weit in den Behälter hineinreicht.

Als ich zurückkomme, läßt sich kein Spatz blicken. Erst bei genauerem Hinsehen bemerke ich, daß er sich unter den Falten des Tuches verkrochen hat. Auch wie ich näher herantrete, bleibt er dort ruhig sitzen, um erst emporzuflattern, als er merkt, daß sich die Falten des schützenden Tuches bewegen.

Merkwürdige Ausführungen! möchte mancher Leser hier bemerken, dem das alles ganz selbstverständlich vorkommt. Aber so liegen die Dinge doch nicht. Manches davon erscheint recht befremdlich, anderes erklärt sich wieder unschwer aus den Lebensgewohnheiten gerade dieser Vogelart.

Befremdlich möchte es uns erscheinen, daß der Haussperling, dieser Hans in allen Gassen, der im Kaffeegarten der alten Tante die Brösel beinahe vom Teller nimmt, sich nach seiner Gefangennahme viel ungebändiger zeigt als manche scheuen Waldvögel. Das ist aber so seltsam nicht, blieb doch in der Hauptsache der Fluchtreflex bei dem Haussperling ebenso wie bei den meisten unserer gefiederten Stadtbewohner trotz der engen Nachbarschaft mit dem Menschen trefflich erhalten. Und wenn wir diese Sache näher überdenken, müssen wir zugeben, daß der Spatz ohnedem kaum bestehen könnte; sind doch die Annäherungsversuche der Menschen, unter deren Dach er wohnt und seine Brut zeitigt, nur sehr selten freundlicher Natur, so daß allzugroße Vertrauensseligkeit den Bestand der Art ernstlich gefährden müßte. Selbst solche Vogelarten, die bei ihrem Zusammenleben mit dem Menschen sogar durch religiöse Vorstellungen geschützt werden, erweisen sich darum doch nicht als gefügige Käfigvögel. Manche der halbdomestizierten Lachtaubchen Konstantinopels (*Turtur risorius decaocto* Frivaldsky), die mir von guten Freunden zugetragen wurden, tobten im Käfig kaum weniger als die Turteltauben des freien Waldes.

Auffällig ist des weiteren, daß der Haussperling sich trotz meiner Nähe ans Fressen macht. Ein frischgefangener Buch- oder Grünfink (*Fringilla coelebs* L. oder *Chloris Chloris* L.) wäre in der Hinsicht peinlicher. Vermutlich liegt das daran, daß der Spatz bei der Nahrungsaufnahme auch im Freileben an die Nähe des Menschen gewöhnt ist. Das Verkriechen ist dann gleichfalls eine

Eigentümlichkeit dieser Art, die uns an ihre Lebensgewohnheiten in der Freiheit erinnert, Überraschte ihn draußen der streifende Sperber (*Accipiter nisus* L.), so möchte sich der Spatz nicht anders benehmen.

Eine der zunächst liegenden Fragen, die bei der Besichtigung solcher ungestümen Wildlinge an mich gestellt zu werden pflegen, ist die: „Wird der Vogel leben bleiben?“ Als vorsichtiger Mann gebe ich darauf nie eine eindeutige Antwort, denn mag man auch schon Tausende von Vögeln eingewöhnt haben und sich ein gewisses Urteil in solchen Dingen zutrauen, dies Urteil bleibt schließlich doch recht unsicher. Ich selber überlege in solchen Fällen etwa folgendermaßen: Augenblicklich ist der Vogel sicherlich nicht krank, denn seine Augen sind klar und sein Körper erscheint muskelstraff und schnellkräftig. Auch die Eblust genügt allen berechtigten Anforderungen. Demgegenüber steht aber meine alte Erfahrung, daß frisch gefangene Vögel sehr häufig rein nervösen, ich darf wohl sagen: seelischen Zuständen erliegen. Sie in so gefährliche Spannung zu versetzen, genügt jeder Eingriff in ihre Selbstbestimmung, oder ich sage wohl besser: in das automatische Abrollen ihrer gewohnten Bewegungsreihen. Es ist mir schon vorgekommen, daß ich Kleiber (*Sitta caesia* Wolf) und Kohlmeisen (*Parus maior* L.) im abendlichen Dämmerlicht erbeutete und in einem Raum, der etwa Außentemperatur hatte, in einen mit Schlafkästen versehenen Behälter hineinwarf. Der Vogel schlüpfte wohl in einen dieser Kästen, schien aber mit der Schlafstätte wenig zufrieden, denn er rumorte bis in die späte Nacht hinein und mußte am nächsten Morgen als Leiche aus dem Kästchen entfernt werden. Von der Annahme, daß der Tod des Tieres nervöse, seelische Gründe gehabt habe, konnte ich in solchen Fällen beim besten Willen nicht abgehen.

Nicht viel anders lag der Fall mit frisch-gefangenen Laubvögeln (*Phylloscopidae*), die der-einst in Konstantinopel während des herbstlichen Zuges dieser Arten in meine Behälter wanderten. Sie hausten in geräumigsten Flugkäfigen, waren augenscheinlich ganz munter, sprachen den vorgeworfenen Ameisenpuppen und Mehlwürmern zu, holten sich sogar Stubenfliegen, die ich ans Gitter hielt und: starben doch im Handumdrehen einer nach dem anderen, so daß Überlebende Ausnahmen darstellten.

Auffällig ist bei diesen Laubvögeln besonders der Umstand, daß bei ihnen der Fluchtreflex vor dem Menschen beinahe ausgeschaltet ist. Obgleich der Haussperling schier in jeder Stunde seines Lebens Menschen zu sehen bekommt, verhielt sich das bei ihm ganz entgegengesetzt, während diese Bewohner der menschenfernen Baumkronen unendlich vertrauensselig sind, gerade so wie die Goldhähnchen (*Regulinae*) und Haubenmeisen (*Parus cristatus* L.), deren ganzes

Leben sich im Nadeldickicht der Koniferen abzuspielen pflegt.

Noch einen anderen Typ frisch gefangener Vögel lernen wir an manchen Kohlmeisen kennen. Diese verfallen in den ersten Stunden der Gefangenschaft offenbar einer gewissen Schrecklähmung, sitzen wie versteinert am Boden ihres Käfigs und verfolgen doch mit den Augen jede unserer Bewegungen. Erst wenn wir sie mit dem Finger berühren, fahren sie jäh empor, um jedoch nach ein paar heftigen Bewegungen wieder an einer anderen Stelle Standbild zu spielen.

Dabei darf jedoch niemand glauben, daß alle frischgefangenen Kohlmeisen sich so benehmen. Unsere Schilderung trifft zwar für viele zu, doch gibt es andere, die *scheinbar* ganz planvoll an ihrer Befreiung arbeiten und jeden Spalt daraufhin untersuchen, ob er ihren Körper durchlasse.

Ein Laie, der den Bemühungen eines solchen Vogels zuschaut, gerät leicht in Versuchung, sie in vermenschlichender Weise zu deuten. Das geht aber kaum an. Auch im Freileben sind die Meisen Kriecher und Schlüpfer, die überall hineingeraten und sich viel schwerer erhalten könnten, wenn sie sich nicht aus solchen Lagen kraft ihrer gewöhnlichen, lebenerhaltenden Bewegungen zu befreien vermöchten. Mit den Haussperlingen steht es in der Hinsicht ganz ähnlich.

Was ich damit meine, wird dem Leser sogleich klar werden. Den größten Teil meiner lebenden Sammlung halte ich in einem luftigen, beinahe kapellenartigen Bodenraum, der nur mit einer Schicht Dachpfannen gedeckt ist. Diese Pfannenschicht hat in verborgenen Winkeln ein paar kaum talergroße Löcher, die menschliche Augen bei noch so genauem Hinsehen zumeist gar nicht wahrnehmen. Da ist es nun ganz interessant, wie sich artverschiedene Vögel, die ihrem Käfig entwichen sind, in diesem Raum benehmen. Solche Fälle ereignen sich gar nicht so selten, will es doch die Tücke des Objekts, daß mir Neulinge gerade dann zugetragen werden, wenn ich einen notwendigen Gang vorhabe und froh bin, die Vögel in irgendeinem Behälter unterzubringen, den ich hinsichtlich der Sprossenweite und ähnlicher Eigenschaften nicht erst ganz genau untersuchen kann. Rothänflinge (*Acanthis cannabina* L.) und Buchfinken sind in dem Gebälk des Dachstuhls wochenlang herumgeflogen, ohne den Weg zur Freiheit zu finden, dagegen waren Meisen und Haussperlinge in kurzer Zeit auf und davon, ja, selbst ein eben erst flügge gewordenes Spätzlein hatte sich durch die unauffälligen Öffnungen im Handumdrehen empfohlen. Zu behaupten, die Hänflinge und Buchfinken seien schlechthin dumm gewesen, geht in diesen Fällen sicherlich nicht an; jene anderen Arten sind eben durch ihre ganze Lebensweise viel mehr an das Benutzen solcher verborgenen Schlupflöcher gewohnt, so daß sie derlei Örtlichkeiten im Notfall in kurzer Zeit zu finden pflegen.

Nach unserer Schilderung des frischgefangenen



nen Haussperlings möchte man kaum viel Hoffnung hegen, aus Angehörigen dieser Art zahme, liebenswürdige Stubengenossen zu gewinnen. Dennoch ist das gar nicht so schwer, falls wir uns die Mühe nicht verdrießen lassen, Jungvögel aufzuziehen. Bei diesen tritt der Fluchtreflex vor dem Menschen mitunter überhaupt nicht hervor, so daß der erwachsene Vogel mit seinem Pflegeherrn, wir dürfen wohl sagen wie mit seinesgleichen umgeht und sich irgendwelcher Zudringlichkeiten mit dem Schnabel erwehrt, um gegebenenfalls seine Gesellschaft wieder liebebeischend aufzusuchen.

Es läge nun nahe, daraus verallgemeinernd zu schließen, daß alle Jungvögel leichter zähmbar sind als solche Artgenossen, die in höherem Alter erbeutet wurden. Durchschnittlich mag das auch wohl zutreffen, doch gibt es immerhin auch viele Ausnahmen. Erwachsene Erlenzeisige (*Chrysomitris spinus* L.) gehören beispielsweise zu den am leichtesten zähmbaren Sperlingsvögeln. Vögel dieser Art, die ich im neutralen Jugendkleide erhielt, erwiesen sich dagegen als die blödesten Angsthassen und burrten im Flugraum so lange an der Decke herum, bis sie mit durchgeriebener Kopfhaut matt zu Boden fielen. Dr. Hermann Müller behauptet dementgegen wieder in seiner Schrift „Am Neste“, Erlenzeisige wären unzähmbar, weil sie bereits zahm aus dem Ei kämen. Der starke Fluchtreflex entspricht hier augenscheinlich einer bestimmten Altersstufe, wo er besonders nötig sein dürfte, um die Jungvögel vor Gefahren zu behüten. Auch daraus sehen wir, wie sehr wir uns in ähnlichen Fällen vor Verallgemeinerung hüten müssen. Wo manche Beobachter sich schon am Ziel eines induktiven Verfahrens wähnen, verfügen sie erst über etwas Kasuistik, bei welcher der Zufall oft eine wunderbare Rolle spielt, um den Neuling zu voreiligen Fehlschlüssen zu verleiten.

Habe ich zu Beginn dieser Arbeit dem Leser Vögel vorgeführt, die sich mit den Bedingungen der Gefangenschaft kaum abzufinden vermögen, so will ich denen nunmehr ein Geschöpf gegenüberstellen, das sich in dieser Hinsicht ganz gegenteilig verhält. Auch hier rede ich nicht verallgemeinernd, sondern wähle einen ganz bestimmten Fall, der noch mit allen Einzelheiten in meinem Gedächtnis haftet.

Da die Jungstare (*Sturnus vulgaris* L. juv.) mit hellen Haufen in die Sauerkirschbäume meines Gartens fielen und von der Ernte rein nichts übrig zu lassen drohten, stellte ich meinen Neffen an, solchem Treiben mit dem Tesching Einhalt zu gebieten. Schon nach kurzer Zeit brachte er mir einen Jungstar an, dem die 9-mm-Kugel, die ulna streifend, ein halbes Dutzend Schwungfedern ausgeschlagen hatte, so daß er nicht mehr fliegen konnte und sich nach kurzer Hatz gefangen geben mußte. Wohl schrie der blutende Vogel aus Leibeskräften, aber gleichzeitig schaute er doch mit hellen Augen um sich, und

als ich ihn in einen großen Flugkäfig setzte, tobte er nicht etwa dumscheu umher, sondern besah sich alle Dinge ganz aufmerksam, um schon nach kurzer Zeit Futter aufzunehmen. Da wußte ich auch allsogleich, daß meine lebende Sammlung um ein Stück bereichert worden sei, an dem auch der Mensch in mir Freude erleben würde. Von einem anderen Star, der ganz in der Nähe stand, nahm der Neuling weder damals noch in den nächsten Tagen die geringste Notiz. Der wird für ihn erst im nächsten Lenz existieren; wenn er ein Männchen ist, um ihm seine Kampfeslieder entgegenzuschleudern; wenn er sich als ein Weibchen offenbart, weil dann die Zeit minniglicher Gedanken kam.

Auch an diesem Star wurde ich wieder gewahr, wie weit die Instinkte schon bei ganz jungen Vögeln entwickelt sind, und wie hoch die Macht der Mneme, der noch in späteren Generationen wirkenden Erinnerung auch bei diesen Geschöpfen eingeschätzt werden muß. Vor allem ungewohnten Gerät zeigt schon der wenige Wochen alte Jungstar große Scheu, und wäre dieses Gerät nur ein neuer Wassernapf. Als ich neulich seinen Wassernapf gegen einen etwas größeren eingetauscht hatte, konnte ich eine interessante, beinahe spaßig wirkende Beobachtung machen. Weil der Star seinen Hunger gerade mit ölhaltigem Quetschhanf gestillt hatte, bekam er ersichtlich Durst. Deshalb lief er zu dem Wassernapf, fuhr aber hastig zurück, als er ein neues Gefäß erblickte. Sofort meldete sich nun wieder seine Eblust, aber nachdem er ein paar Hanfkörner verschluckt hatte, regte sich auch schon von neuem der Durst. Das wiederholte sich wieder und wieder; jedesmal verweilte er längere Zeit am Wasser-, kürzere am Futternapf, bis er schließlich nur noch den spielerisch wühlenden Schnabel in das Futter steckte, um dann endlich mit raschem Entschluß den Fluchtreflex vor dem Trinkgefäß zu überwinden und den mit Wasser gefüllten Schnabel gen Himmel zu heben.

Recht interessant ist auch die Frage, inwiefern die Änderung der Umwelt, die sich für den Käfigvogel vollzieht, eine Veränderung seiner Bewegungsart bedingt, etwa in der Weise, daß ein Jahr und Tag gefangener Kleiber nach Finkenart von Sprosse zu Sprosse hüpfte. Meinen Erfahrungen zufolge pflegt solcher Wandel kaum einzutreten. Im allgemeinen wird der Bewegungstrieb der Gefangenen von Jahr zu Jahr geringer. Da der beständige Zusammenhang zwischen der Einzelbewegung und den gesetzmäßigen Lebenserscheinungen fehlt und der größte Teil der Sinneseindrücke fehlt, die sonst diese Bewegungen reflexmäßig auslösten, unterbleiben die Bewegungen mehr und mehr. Ich besitze z. Z. beispielsweise einen Kleiber, der eine für diese Art schon recht lange Gefangenschaft hinter sich hat. Der Vogel ist kerngesund, und in jedem Lenz habe ich an seinen fröhlichen Brunstrufen meine helle Freude. Dagegen verausgabt er durch

Bewegungen sicherlich nicht den zehnten Teil der Energie, welche seine freilebenden Artgenossen in der gleichen Zeit aufwenden. Damit mag es denn auch zusammenhängen, daß dieser Vogel mit einer auffällig geringen Nahrungsmenge auskommt.

Eigentümlich erschien es mir immer, daß die Gegenstände, zwischen und an denen sich das Leben der gefangenen Vögel abspielt, einen offenbar fast gesetzmäßigen Einfluß auf Angehörige der gleichen Art ausüben. Es ist mir schon vorgekommen, daß ich einen Stieglitz (*Carduelis carduelis* L.) hatte, der in seinem Käfig die Nacht so zu verbringen pflegte, daß er sich an den Sprossen einer Seitenwand anklammerte und in dieser befremdlichen Stellung schlief, anstatt die Nacht über auf einer Stange zu sitzen. Ich gab den Vogel fort, erhielt aber nach kurzer Zeit einen anderen Stieglitz, der in denselben Käfig gesteckt wurde. Schon in der ersten Nacht hing er an denselben Sprossen wie sein Vorgänger.

Überhaupt dürften wir das Eigenwillige, Selbsttätige bei den herkömmlichen Bewegungsreihen der Vögel leicht überschätzen. Ihre Gebundenheit in der Hinsicht ist so groß, daß ich mir schon oft die Frage vorlegte, ob der Ausdruck *Nahrungssuche* bei den Vögeln wohl so gerechtfertigt sei, als die meisten vermeinen, weil sie sich über so selbstverständlich erscheinende Dinge nie den Kopf zerbrochen haben.

*Sucht* wirklich der Vogel seine Nahrung? Ich vermeine, unsere Ausdrucksweise käme der Wahrheit näher, wenn wir sagten, er strebe ganz unwillkürlich Plätzen von bestimmter Beschaffenheit zu, die derart sind, daß sich an ihnen Nahrung findet, die aufzunehmen er dann durch die gewohnten Reize veranlaßt wird. Sicherlich möchte wohl mancher im ersten Augenblick diese Ausführungen mit heller Lache belohnen, und wenn er sich die am schwanken Baumast angehängelten Meisen, den am Baumast hämmern den Specht vorstellt, könnten ihm meine Worte wohl sinnlos erscheinen. Je länger er aber über die Dinge nachdenkt, um so mehr wird er wohl den Wahrheitskern in meiner Ansicht herausfinden. In der Gefangenschaft nehmen wir von einer solchen *Nahrungssuche* kaum etwas wahr. Dieses allgemeine Urteil wage ich hier auszusprechen, obgleich ich in einem Menschenalter Tausende von Vögeln betreut und beobachtet habe, ihnen so eine Arbeitsmenge widmend, die derlei Aufgaben nicht allzu oft geweiht sein dürfte, es sei denn von den Wärtern der Tiergärten und Menagerien, bei denen nicht Wissensdurst die Treiberin zu solchem Werke war.

Stecken wir einen frisch gefangenen Kleiber in seinen Käfig, dessen ganze Gestalt in der Regel zu seiner natürlichen Umgebung in schreiendem Widerspruch steht, so *sucht* er dort nicht etwa nach Nahrung, sondern es ist die Aufgabe seines Pflegers, ihm das Futter in solcher Weise vorzusetzen, daß er sich dem von ihm ausgehenden

sinnlichen Reiz schlechterdings nicht entziehen kann.

Daß ein Vogel, den sein Pfleger einmal vergaß, wieder und wieder zu dem leeren Napfe fliegt, ist eine Tätigkeit, die dem Begriff der Nahrungssuche in unserem Sinne kaum entspricht. Wie wenig die Vögel Futter suchen, ward mir im Weltkriege so recht klar, als diese und jene schwer entbehrliche Futtersorte ausging. Paßte den Vögeln der Ersatz nicht, so *suchten* sie nicht etwa in dem Flugkäfig nach Nahrung, sondern sie plusterten sich nach wenigen Stunden, wenn die fehlende Nahrungsaufnahme fühlbar ward, dick auf und starben hin, wenn ihnen nicht allsobald die gewohnte Kost zugeführt werden konnte. Als ich einmal während des Krieges von Hause fort mußte, ging die Hirse aus, mit der ein blaugraues Pfäffchen (*Coccothraustes intermedius*, Cab.) ernährt wurde. Mein Stellvertreter setzte dem Vogel ein Körnermischfutter vor, das von dem nicht angenommen wurde. Der Vogel verhungerte dabei ganz still und unauffällig, ohne daß sein Pfleger die geringste Erregung und Unruhe bei ihm wahrnahm. So dürfte also auch die Nahrungssuche der Vögel im großen und ganzen völlig unbewußt vor sich gehen; der Laie denkt sich darunter nur allzu leicht eine Tätigkeit, die etwa der gleiche, welcher er selbst bei der Pilzsuche und ähnlichen Beschäftigungen obliegt.

Eine Frage, die in den Zeitschriften der Vogelliebhaber und an ähnlichen Stellen wieder und wieder erörtert zu werden pflegt, ist die, ob der Vogel seinen Pfleger kenne. Sie ist gar nicht so leicht zu beantworten, denn das Verhältnis der Pfleglinge zu ihrer Umgebung ist je nach den Verhältnissen ganz verschieden, anders in einem Tiergarten oder einem vielbesuchten Wirtshaus, anders in der Wohnung eines Privatmannes, in der sie außer ihrem Pfleger nur selten jemand zu Gesicht bekommen. Ein Gastwirt oder Haarkünstler, der seine Vögel in der Gaststube, in dem Arbeitsraum hält, kann sie darum auch getrost auf Ausstellungen senden, während meine Pfleglinge, die an ein ganz einsames Leben gewohnt sind, dort angstvoll flattern und sich in wenigen Stunden arg verstoßen und beschädigen möchten.

Ich für meine Person möchte die Frage, ob der Vogel seinen Pfleger kenne, wohl bejahen, aber gleichzeitig energisch hervorheben, daß wir auch diese Gefühle nicht vermenschlichen dürfen. Für uns ist das Antlitz der Teil, der uns an unseren Mitmenschen am meisten interessiert, und wenn ein Egmont seinem Klärchen auch spanisch kommt, wird er von ihm nichtsdestoweniger sogleich erkannt. Bei den Vögeln liegt die Sache ganz anders und nur wenige, intellektuell besonders hochstehende Geschöpfe (Papageien, Raben, Starvögel usw.) nähern sich diesem Standpunkte. Im allgemeinen wirkt der Pfleger auf die Gefiederten nur durch die *Gesamt*-erscheinung seiner Kleidung und seiner Be-



wegungen. Danach richten sie sich, und ich brauche die Vogelstube nur einmal im weißen Hemd oder mit Hut und wallendem Mantel zu betreten, um allgemeine Unruhe zu entfesseln. Dabei müssen wir auch von vornherein berücksichtigen, wie schwer es selbst dem Menschen ist, Angehörige anderer Arten hinsichtlich ihrer Individualität in kürzester Frist zu bestimmen. stehen wir doch in der Hinsicht einer Hammelherde oder einer Schar schlohweißer Gänse ziemlich ratlos gegenüber. Wäre unter einem Rudel Tiger ein einziger, der sich uns geneigt zeigte, so würden selbst wir Menschenkinder unsere schwere Not haben, ihn auf den ersten Blick wiederzuerkennen.

Sich dem Pflegeherrn anzuschließen, veranlaßt die Gefangenen nicht etwa nur der Geselligkeitstrieb, sondern weit darüber hinausgehend wirken noch allerlei stellvertretende Reize, die der Pfleger verursacht und die sich bei den Vögeln während der verschiedensten Erregungszustände geltend machen. Dem spielerisch gestimmten Papagei muß sein Herr einen Spielgefährten ersetzen, das brünstig erregte Rotkehlchen (*Erithacus rubecula* L.) stürzt sich mit lautem Kampfgesang auf die in den Käfig hineinlangende Hand seines Pflegers, der zahme Wachtelhahn (*Coturnix coturnix* L.) versucht sogar, diese Hand zu treten usw. usw. Ihnen jedoch irgendein Bewußtsein davon zuzuschreiben, daß der Mensch ihr Wohltäter sei, wäre wohl unerlaubte Vermenschlichung. Er ist in der Hinsicht für das zahme Rotkehlchen doch sozusagen nur ein Anhängsel des Mehlwurmtopfes, bei dessen Anblick der Vogel wegen der zu erwartenden Leckerbissen in freudige Erregung gerät. Vor einem überaus zahmen Star muß ich mich jedesmal, wenn ich den Futternapf in seinen Käfig stelle, gehörig in acht nehmen, weil er, in dem Bestreben, möglichst schnell zum Futter zu gelangen, wie wild auf meine Finger loshackt. Mit einem zahmen Milan (*Milvus korschun* Gmelin), den ich in Konstantinopel verpflegte, war es nicht anders. nur hatte der das Hacken noch viel besser heraus.

Allüberall zeigt es sich, daß anormal veränderte Lebensbedingungen sozusagen Triebversetzungen hervorrufen. Das gilt auch für den Geselligkeitstrieb. Immer wieder pflegen Besucher, wenn sie vor den Behältern einzeln gehaltener Vögel stehen, ihr Bedauern darüber auszusprechen, daß jene Geschöpfe so einsam sind, und wenn wir an die Scharen der streifenden Zeisige, an den wolkenähnlichen Flug der Bergfinken (*Fringilla montifringilla* L.) denken, scheint jene Meinung ja auch wohl begründet. Wollte ich aber jenem vereinsamten Zeisig oder Bergfinken, dem das Mitleid des Gastes galt, in seinem kleinen Behälter ein artgleiches Männchen beigesellen, so könnte ich sicher sein, daß der frühere Bewohner des Käfigs sogleich über den Ankömmling herfiel und es dort zu einem wilden Zweikampf käme, wo er helle Freude voraus-

gesagt hätte. Auf ein so enges, zwangsweise bestehendes Zusammenleben sind selbst diese, unter sich so geselligen Arten eben nicht eingestellt. Dagegen erinnere ich mich mit Vergnügen mancher anheimelnder Begrüßungsszene, die dann zustande kam, wenn ich in einen großen Flugkäfig, in dem unter verwandten Arten auch ein Zeisig oder Stieglitz hauste, einen artgleichen Vogel hineinwarf. Da konnte ich zuweilen Bilder beobachten, deren Stimmung mir geradezu menschliche Seelenvorgänge wiederzuspiegeln schien.

Auch dort, wo uns von der Trauer solcher Vögel berichtet wird, denen ein artgleicher Genosse, mit dem sie lange Zeit zusammenlebten, durch den Tod entrissen wurde, muß man mit dem eigenen Urteil vorsichtig zurückhalten. Vergessen wir doch nicht, daß die Tiere vordem durch Lautäußerungen und andere Bewegungen des Genossen selber zu vielen, vielen Bewegungen veranlaßt wurden, die nun unterbleiben, nicht weil sie trauern, sondern weil die Reize fehlen, wodurch sie früher ausgelöst wurden.

Vor wenigen Wochen erschien bei mir eine alte Dame mit einem wunderschönen Wellensittichmännchen (*Psittacus undulatus* Shaw) und erklärte, sie wolle mir den Vogel schenken, weil sein Brüderchen gestorben sei und sie die Trauer des Vogels nicht mehr mit ansehen könne. Mir war solche Zuwendung an sich gar nicht unwillkommen, da ich so teure Ware jetzt kaum zu erstehen vermag. Als ich der Dame pflichtgemäß wenigstens ein kleines Entgelt aufdrängen wollte, wies sie alles zurück mit dem Bemerkten, es sei ihr nur an guter Behandlung ihres früheren Pfleglings gelegen. Von Trauer konnte ich dann aber bei diesem Vogel nicht das geringste wahrnehmen, da er sogleich viertelstundenlang seelenvergnügt pfiß und plauderte. Dennoch mochte seine frühere Besitzerin mit ihren Angaben nicht unbedingt unrecht haben. Sie verglich eben sein Benehmen an den letzten Tagen mit dem in früherer Zeit, wo er noch von seinem Genossen zu allerlei fröhlichem Tun angeregt wurde. Auch bezüglich jener Papageiarten, die man geradezu als „Unzertrennliche“ bezeichnete und unfehlbar geopfert wähnte, wenn einer der Ehegatten starb, ist in der Hinsicht viel gefabelt worden, wenn auch die Gerüchte einen geringen Wahrheitskern bergen mögen. Ähnlich verhält es sich mit dem Tode solcher Vögel, die im Frühling nach vollzogener Paarung gefangen werden. Hier spielt in Zustände, die der Mensch gern rein seelisch begreifen möchte, doch viel Körperliches hinein.

Einen Begriffskreis für sich berührt die Frage, wie die stimmlichen Äußerungen der Vögel durch die veränderten Verhältnisse der Gefangenschaft beeinflusst werden. Darauf gehen wir ein andermal einzugehen. Schon diese Arbeit wird dem Leser wohl gezeigt haben, welche Fülle von Erscheinungen an dem Auge des Vogelpflegers vorüberzog, der im Laufe von

40 Jahren vielleicht 3—4000 Vögel längere Zeit genauer beobachten durfte. Ein Vertreter der Laboratoriumszoologie zuckt über solche Eigenbrötlei leicht die Achseln. Der Einspänner selber aber dankt seinem Geschick, daß es ihm so manchen Einblick in die unendliche Lebensfülle der Natur gewährte, der ihm auf andere Weise nicht zuteil geworden wäre, wenn er auch seufzend zugestehen muß, daß sich nur der kleinste Teil seiner Wahrnehmungen in das Schema kurzer, klar ausgedrückter Regeln und Gesetze zwängen läßt. Sollten aber die Paragraphi die Hauptsache sein und nicht die Ehrfurcht und Liebe, die den Menschen überkommt, wenn er sich hingebend in das Leben der großen Allmutter vertiefen darf?—

## Über die Bildung der Glucoside.

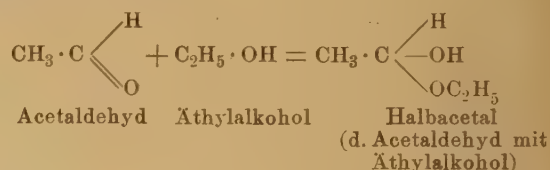
Von Max Bergmann, Berlin-Dahlem.

Wer versucht, vom chemischen Standpunkt aus die Lebensvorgänge zu verfolgen und den atomistischen Aufbau der beteiligten Stoffe zu entziffern und in seinem tieferen Sinne zu begreifen, dem fällt gerade bei den Verbindungen, die wir als die lebenswichtigsten ansehen, eine eigentümliche Regelmäßigkeit auf. Das ist die mehrfache Wiederkehr spezifischer Gruppen innerhalb desselben Moleküls. Bei Fetten ist es die Nebeneinanderstellung mehrerer Estergruppen, die eine Folge der Dreizahl der Hydroxyle im Glycerin ist. Hier sind die wirksamen Gruppen, die sich wiederholen, im wesentlichen gleich. Bei den Eiweißstoffen enthalten die Bausteine, die Aminosäuren, zum großen Teil zwei oder drei aktive Gruppen, die zumeist ganz verschieden voneinander sind. Aber bei der Aneinanderlagerung der Aminosäuren zum Proteinmolekül kommt ein verwickeltes Gebilde heraus mit vielen, größtenteils wieder wesensähnlichen Gruppen. Ihr Zusammenwirken und ihr Wechselspiel müssen wir verantwortlich machen für die komplexe Funktion und die vielseitige Wandelbarkeit der Proteine.

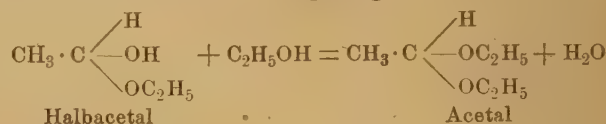
Den Zuckern wiederum gibt die mehrfache, fast schematische Wiederkehr sauerstofftragender Gruppen das Gepräge. Sie ist schuld daran, daß sich die Zucker bei scheinbar recht einfachem und übersichtlichem Bau durch jene vielseitigen Umwandlungsmöglichkeiten auszeichnen, welche ihnen als erstem Produkt der assimilationssynthetischen Synthese der Pflanze ihre zentrale Stellung im biologischen Geschehen ermöglicht. Wie diese Vielfältigkeit als Folge der vielen gleichartigen Gruppen selbst einen so einfachen Vorgang, wie es die Glucosidbildung zu sein scheint, kompliziert, mögen die folgenden Darlegungen andeuten. Der Prozeß der Glucosidbildung ist zum Gegenstand der Betrachtung gewählt, weil er wohl der allgemeinste Vorgang der pflanzlichen und tierischen Kohlenhydratchemie ist.

Die Zucker gehören zum größten Teil zu den

Aldehyden, einige auch zu den Ketonen. Bringt man einen Aldehyd mit einem einfachen Alkohol zusammen, so bildet sich, wie *Meerwein* gezeigt hat, ein Additionsprodukt zwischen beiden. Das Carbonyl lagert mit Hilfe seines doppelt gebundenen Sauerstoffatoms die Bestandteile des Alkohols an und es entsteht ein Gebilde, das wir Halbacetal nennen:



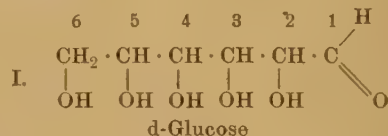
Man kann noch weiter gehen und ein zweites Molekül Alkohol zur Reaktion bringen, um zu einem echten Acetal zu gelangen:



Aber dafür ist schon Wasserabspaltung notwendig und infolgedessen die Anwendung eines Kondensationsmittels, als das man gewöhnlich saure Stoffe, Chlorwasserstoff und dergleichen, benutzt.

Die Halbacetale sind recht unbeständige Verbindungen, die ebenso leicht wieder zerfallen, wie sie sich bilden. Darum geben sie mit passenden Reagentien auch unschwer die meisten typischen Eigentümlichkeiten der Aldehyde. Nicht so die echten Acetale, denen der leichtbewegliche Hydroxylwasserstoff fehlt. Sie verraten erst nach energischen Eingriffen die Natur ihrer Grundsubstanz.

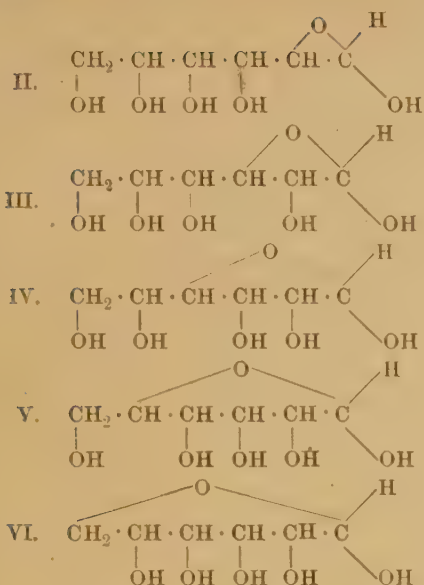
Die einfachen Zucker vom Typus des Traubenzuckers (d-Glucose) sind Aldehyde und Alkohole zu gleicher Zeit:



(Die Zahlen der obersten Reihe bedeuten die Stellennummern der einzelnen Kohlenstoffatome.)

Die Formel zeigt, daß auf ein aldehydisches Carbonyl fünf alkoholische Hydroxyle kommen. Es wäre also verwunderlich, wenn hier die Reaktion ausbliebe, die wir eintreten sahen, wenn die alkoholischen und die aldehydischen Gruppen verschiedener Moleküle aufeinander treffen. Bei den Zuckern kann Halbacetalbildung innerhalb eines und desselben Moleküls stattfinden, und mit um so größerer Leichtigkeit, als dem Carbonyl an jedem der Kohlenstoffatome 2 bis 6 je ein Hydroxyl zur Halbacetalbildung zur Verfügung steht. Freilich schafft diese Vielheit der Hydroxyle zugleich auch die Möglichkeit zur Bildung verschieden gebauter Halbacetale, deren Unterschied bedingt wird durch die Variation des zur Acetalisierung verbrauchten Hydroxyls:





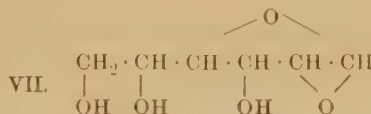
In allen diesen Fällen ist durch die Halbacetalbildung das Kohlenstoffatom 1 asymmetrisch geworden und so zur Ursache der Existenzmöglichkeit zweier raumisomerer Formen. Jeder Strukturtypus von II bis VI läßt darum zwei raumisomere Formen zu ( $\alpha$ - und  $\beta$ -Form). Die beiden isomeren Formen vom Typus III glaubte man bisher mit einiger Sicherheit der  $\alpha$ - und  $\beta$ -Form des Traubenzuckers zugrunde legen zu dürfen, ohne daß aber für diese Auffassung bisher ein sicherer Beweis vorhanden wäre.

Im Zucker stehen also die fünf vorhandenen Hydroxyle um die Verbindung mit dem Carbonyl in Konkurrenz, und wenn es auch unschwer gelingt, die eine oder andere der hierbei möglichen Formen (z. B. die eben erwähnte  $\alpha$ - und  $\beta$ -Glucose) in einheitlichem Zustand abzuscheiden, so ist doch gewiß, daß in Lösungen des Zuckers eine dauernde gegenseitige Umwandlung stattfindet, deren Ergebnis ein Gleichgewicht aller möglichen Formen ist.

Größere Stabilität als die halbacetalischen Formen der freien Zucker zeigen ihre Doppelacetale, die wir uns formal so entstanden denken können, daß die halbacetalische Zuckerform mit einem zweiten alkoholischen Hydroxyl unter Wasseraustritt reagiert. Dieses zweite Hydroxyl kann aus zwei verschiedenen Quellen stammen. Entweder es wird wieder dem eignen Molekularverband entnommen; dann steht die aldehydische Gruppe gleichzeitig mit zwei verschiedenen Hydroxylgruppen des eignen Moleküls in Verbindung und es entstehen Stoffe wie das Laevoglucosan, das  $\alpha$ -Glucosan oder das sogen. Glucaloxyd (Anhydro-mannose), die der Klasse monomolekularer Zuckeranhydride angehören. Sie finden heute allgemeines Interesse wegen ihrer möglichen Beziehung zur Chemie der Polysaccharide.

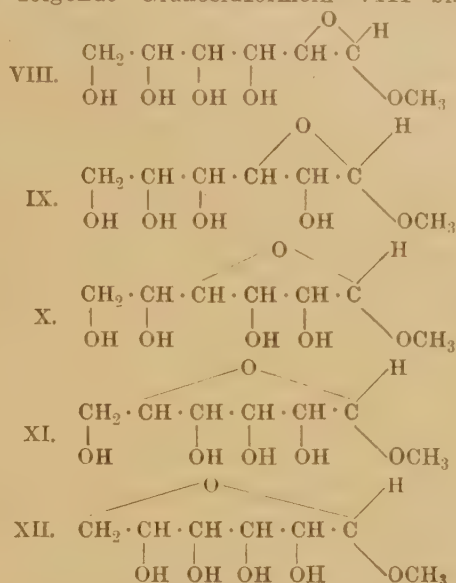
Als Beispiel sei die Formel angeschrieben, die möglicherweise dem Glucaloxyd zukommt: In ihr ist die Sauerstoffbrücke von 1 nach 2 zweifels-

frei, die andere verläuft wahrscheinlich von 1 nach 4; doch hat sich noch nicht absolut ausschließen lassen, daß nicht statt 4 ein anderes Hydroxyl, etwa in 5, am zweiten Ring beteiligt ist.



Darnach könnte man sich das Glucaloxyd ebenso gut aus Formel II wie aus IV durch intramolekulare Wasserabspaltung entstanden denken.

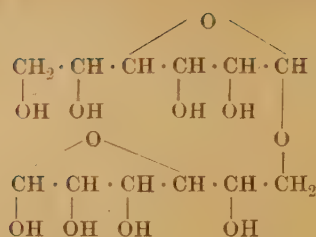
Gehen die Zuckerhalbacetale Anhydrierung mit molekülfremden Alkoholen ein, z. B. mit Methylalkohol oder dgl., so entstehen jene gemischten Acetale, die als Glucoside lange bekannt sind. Den Zuckerformeln II bis VI entsprechen dann folgende Glukosidformeln VIII bis XII:



Da alle diese Einzelformeln zwei raumisomere Glucoside wiedergeben (wegen der Asymmetrie des aldehydischen Kohlenstoffatoms), ist die Zahl der möglichen Methylglucoside gleich zehn.

In diese Klasse glucosidischer Zuckeracetale gehören die natürlichen Glucoside. Nur ist bei ihnen die alkoholische Komponente erheblich verwickelter gebaut als der für unser Beispiel benutzte Methylalkohol.

Einen besonderen Fall bilden die Disaccharide (und Polysaccharide). Hier wird der aldehydische Teil des Acetals von dem *einen* Zucker geliefert, der sich aber hier nicht eines beliebigen Alkohols bedient, sondern zur Glucosidierung das Hydroxyl eines *zweiten* Zuckers benutzt. Also ist auch die alkoholische Komponente ein Zucker, und damit gewinnen die Disaccharide gegenüber den einfachen Glucosiden noch erheblich an Komplikationsmöglichkeiten. Wir brauchen nur die folgende Zustandsformel eines Disaccharids zu betrachten, die eine von den vielen möglichen Strukturen wiedergibt, um ein Bild von der Mannigfaltigkeit der Disaccharide zu gewinnen:



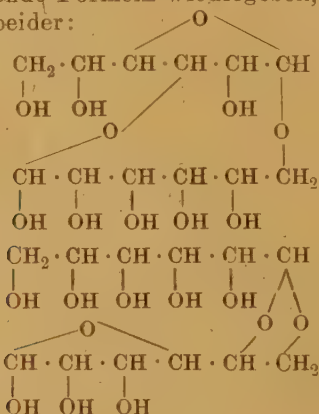
Wir wollen zunächst außer acht lassen, daß die Natur jedes der beiden untereinander beschriebenen Zucker variieren kann unter den vielen Hexosen, Pentosen, Methylpentosen usw.; wollen auch unberücksichtigt lassen, daß ebenso gut wie Aldehyd- auch Ketonzucker an der Disaccharidbildung beteiligt sein könnten. Der Einfachheit wegen sei vielmehr, angenommen, unser Disaccharid werde aus zwei gleichen Aldohexose-teilen, etwa aus zwei d-Glucoseres-ten, aufgebaut. Dann sind noch immer folgende strukturellen Einzelpunkte einer Variation zugänglich:

1. Der erste Glucoseres-ten kann, wie oben für Methylglucoside dargelegt, fünf verschiedene Ringstrukturen annehmen, von denen jede in  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Form vorliegen kann (also im ganzen zehn Variationsmöglichkeiten).

2. Die Sauerstoffbrücke des ersten Zuckers kann nach den fünf verschiedenen Hydroxyle des zweiten Zuckers hinübergreifen (fünf Variationsmöglichkeiten, wenn man für den zweiten Zucker die offene, aldehydische Form außer Betracht läßt).

3. Der zweite Zuckerrest hat für seinen Sauerstoffring wiederum im eigenen Zuckerrest vier verschiedene Hydroxyle zur Verfügung (acht Variationsmöglichkeiten, wobei wieder die aldehydische Form unberücksichtigt ist).

Also schon für ein Disaccharid aus zwei Traubenzuckerteilen ergeben sich mehrere Hundert Möglichkeiten. Dabei ist aber noch der einschränkende Vorbehalt gemacht, daß jede Aldehydgruppe mit einer ihrer Sauerstoffbindungen ausschließlich an Hydroxyle des *eigenen* Glukose-teilkomplexes zur Ringbildung herangetreten ist. Es ist aber vorerst kein plausibler Grund dagegen anzuführen, daß nicht auch Gebilde vorkommen, wie sie folgende Formeln wiedergeben, oder Kombinationen beider:



Wir sehen also für Disaccharide aus der Konkurrenz gleichartiger Gruppen einen Formenreichtum erwachsen, welcher die Zahl möglicher Dipeptide der heute bekannten einfachen natürlichen Aminosäuren weit in den Schatten stellt. Dieser Umstand verdient Beachtung im Hinblick auf die übliche Auffassung, welche die große Zahl möglicher Isomeren als ein Privileg der Proteine betrachtet.

Andererseits sehen wir hier erst recht deutlich, wie große Schwierigkeiten künftig noch für die strukturelle Aufklärung kompliziert zusammengesetzter Polysaccharide zu erwarten sind. Glücklicherweise scheint die Natur nur einen verhältnismäßig bescheidenen Teil dieses Formenreichtums zu verwirklichen. Damit erhebt sich aber die Frage: Wie stellt es der Organismus an, wenn er Disaccharide oder auch nur Glucoside aufbaut, aus der großen Anzahl möglicher Formen eine eindeutige Auswahl zu treffen? Welcher Mittel bedient er sich überhaupt, um die Acetalisierung der Zucker zu Glucosiden und Disacchariden durchzusetzen?

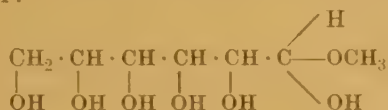
Leider weiß man noch recht wenig hierüber. Man hat aber versucht, durch Ausarbeitung von Laboratoriumsmethoden den natürlichen Prozeß nachzuahmen. *Emil Fischer*, dem wir die grundlegende Erkenntnis des Wesens der Glucoside verdanken, hat uns auch ihre Darstellung durch direkte Kondensation der Zucker mit Alkoholen gelehrt. Sein Verfahren bedient sich starker Säuren als Kondensationsmittel, vor allem des bequemen und billigen Chlorwasserstoffs, also ganz der gleichen Mittel, wie sie für die Acetalisierung der einfachen Aldehyde Anwendung finden. So epochemachend und folgenreich diese Entdeckung einst gewesen ist, so wird der Biochemiker heute doch ihre geringe Ähnlichkeit mit den natürlichen Verhältnissen der Glucosidbildung nicht übersehen. Der lebende Organismus verwendet nicht starke alkoholische Säuren und er kennt auch nicht die hohen Temperaturen, wie sie die alte Methodik des Laboratoriums für die Bildung der Glucoside meist anwendete.

Liegt hier nur ein quantitativer Unterschied vor, geeignet, die intensive Wirkungskraft enzymatischer Katalysatoren zu illustrieren? Nimmt also die enzymatische Synthese den gleichen Weg wie unser Laboratoriumsverfahren, nur daß ein energischerer Katalysator zur Anwendung kommt? Oder arbeiten Natur und Laboratorium von vornherein nach ganz verschiedenen Schablonen? Um darüber Klarheit zu gewinnen, müßte man überhaupt erst einmal eine etwas genauere Vorstellung finden, was mit dem Zucker bei dem Fischerschen Verfahren vor sich geht.

Die Glucosidbildung aus Zucker und Alkohol in Gegenwart von Säuren ist viel verwickelter, als die oben gegebene formale Ableitung des Glucosidbegriffes aus der Analogie mit den Acetalen erkennen ließ. Bei dem Fischerschen Verfahren entstehen nämlich nebenein-



ander eine ganze Reihe Stoffe glucosidischer Natur von gleicher Zusammensetzung, aber verschiedenem Bau. Fischer selbst hat gezeigt, daß bei der Wechselwirkung von Traubenzucker und Methylalkohol unter dem fördernden Einfluß trockener Salzsäure der endgültigen Bildung von  $\alpha$ - und  $\beta$ -Methylglucosid die Entstehung des sogenannten  $\gamma$ -Methylglucosids voran geht. Das  $\gamma$ -Glucosid, das sich übrigens durch auffallende Unbeständigkeit auszeichnet, scheint wiederum selbst ein Gemisch von Stoffen zu sein. Das Fischerverfahren liefert also nebeneinander eine Vielheit von Stoffen, und vor jenen Glucosiden, die den natürlichen  $\alpha$ - und  $\beta$ -Glucosiden ihrer Struktur nach entsprechen, entstehen zuerst andere, die bei gleicher Zusammensetzung zweifellos abweichende Ringstruktur besitzen. Die einfachste, wenn auch nicht einzig mögliche Erklärung für den komplexen Ablauf des Laboratoriumsverfahrens bietet sich in der Anschauung, daß der Zucker unter dem Einfluß des sauren Katalysators in ein Derivat der ringfreien, aldehydischen Zuckerform übergeht, etwa von folgender Natur:



Will dieses Halbacetal unter Wasserabspaltung weiter zur Bildung eines echten Acetals (in diesem Falle: eines Methylglucosids) schreiten, so steht eine ganze Auswahl von Hydroxylen zur Anhydrierung zur Verfügung, deren sukzessive Benutzung die verschiedenen Ringsysteme der einzelnen Methylglucoside VIII—XII liefert. Man wird demnach als wesentlichen Punkt der Glucosidsynthese nach Fischer die Bildung azyklischer Zwischenprodukte ansehen dürfen.

In neuerer Zeit hat man ein Verfahren der Glucosidbildung aufgefunden, das sich durch sehr viel eindeutigeren Verlauf auszeichnet. Von verschiedenen Zuckern und Disacchariden (Mannose, Rhamnose, Glucosidomannose) hat man Anhydride kennen gelernt, welche schon bei der Berührung mit Alkoholen in der Kälte ohne weiteres Glucoside liefern. Eines dieser Anhydride, nämlich das der Mannose, ist schon weiter oben unter VII formuliert und als Glucaloxyl besprochen worden. Es stellt mit seinen eben erwähnten Verwandten einen besonderen Typus intramolekularer Acetale vor, weil es im Gegensatz zu manchen anderen Anhydrozuckern unter der Wirkung von Alkoholen schon aufgespalten, also umacetalisiert wird zu einfachen Glucosiden. Nicht ganz unähnlich verhalten sich auch manche andere nicht reduzierende Anhydride einfacher und zusammengesetzter Zucker, wie z. B. das  $\alpha$ -Glucosan von Pictet, nur daß hier zur Reaktion mit dem Alkohol wieder ein saurer Katalysator erforderlich ist. Gemeinsam ist allen diesen Beispielen der Umwandlung von Anhydrozucker in Glucoside, daß sie sehr eindeutig zu

verlaufen scheinen. Denn von den verschiedenen möglichen raum- und strukturisomeren Glucosiden hat man immer nur eines aufgefunden. Hier scheint ein prinzipieller Unterschied vom Fischerschen Verfahren vorzuliegen.

Nun bedient sich dieses Verfahren bisher nur der Anhydrozucker, nicht der Zucker selbst, und man könnte einwenden, daß die empfindlichen Anhydrozucker bisher nicht direkt aus Zuckern selbst, sondern nur auf recht umständlichem Weg aus Stoffen der Glucalklasse gewonnen worden sind. Darauf kommt es aber zunächst hier nicht an. Nicht darauf, ob man früher oder später lernen wird, solche Anhydride direkt aus Zuckern zu bereiten. Wichtig ist für uns jetzt nur die Feststellung, daß es einen Weg gibt, um von nahen Verwandten der Zucker aus ohne Anwendung aggressiver Stoffe als Katalysator direkt zu Glucosiden zu kommen und vor allem, daß dieser Prozeß strukturell und raumchemisch besonders glatt zu verlaufen scheint. Der eindeutige Ablauf hängt natürlich mit der speziellen Natur des anhydrierten Vorproduktes zusammen. Es enthält zwei sauerstoffhaltige Ringe, und die Wirkung des Alkohols scheint lediglich darin zu bestehen, daß er den einen Ring auflöst, während der andere Ring, der hinterher im Glucosid vorzufinden ist, sich unverändert erhält. Man darf sich also schon nach den heutigen Erfahrungen vom Zucker aus zum Glucosid einen Weg vorstellen, der von einer zyklischen Form der Zucker seinen Ausgang nimmt, unter Wasserabspaltung zu einem zweizyklischen Gebilde führt, das weiterhin unter Anlagerung von Alkohol und Wiederöffnung des zuvor neugebildeten Sauerstoffringes zum Glucosid angewandelt wird.

Man hätte also zwei prinzipiell verschiedene Wege der direkten Glucosidbildung zu unterscheiden, deren wesentlichster Unterschied in der Natur des Zwischenproduktes liegt: Hier bicyklisches Zwischenprodukt, das die Struktur des daraus entstehenden Glucosids eindeutig vorgebildet enthält, — dort azyklische offene Zuckerform mit der Möglichkeit, unter Ringschluß jede beliebige Glucosidstruktur anzunehmen.

Sucht man künftig Einblick zu gewinnen in die Mittel, deren sich die Natur bedient, wenn sie ihre Glucoside, ihre Polysaccharide bildet, so wird man vor allem an das Anhydrid-Glucosid-Verfahren denken: Hier ist die Mitwirkung aggressiver Stoffe, wie starker Säuren, vermieden. Hier ist vor allem der eindeutige Ablauf, welcher den natürlichen Prozeß der Glucosid- und Disaccharidbildung von dem Salzsäureverfahren scharf unterscheidet. Möglich also, daß sich auch die Natur der Zuckeranhydride bedient; dann würden die Anhydrozucker nach einer ganz neuen Richtung Bedeutung gewinnen. Aber darüber läßt sich gegenwärtig noch nichts Bindendes aussagen. Soviel läßt sich aber schon jetzt wahrscheinlich machen und das scheint das Wesen

der neuen Erkenntnis: In der Ausbildung zyklischer Produkte — wie sie nun auch im einzelnen gebaut sein mögen und ob ihre Zyklen nun beide nur durch einfache Sauerstoffbrücken gebildet sind oder ob sie zum Teil auf andere Weise unter Einbeziehung des enzymatischen Katalysators zustande kommen — in der Ausbildung mehrzyklischer Produkte bietet sich der Natur ein Weg, um in einsinniger Weise zu Glucosiden zu kommen.

Von allen denkbaren Typen von Zwischenprodukten zeigen gerade solche mit mehreren Ringen eine ausgesprochene Tendenz zur vorzugsweisen Bildung bestimmter Einzelformen. Denn an und für sich lassen sich formal von bizyklischen Gebilden ebenso viele Isomere denken und auf dem Papier durch Strichformeln wiedergeben, wie bei andern ringhaltigen Zuckerabkömmlingen. In Wirklichkeit liegen die Dinge aber anders. Wenn erst ein Ring vorhanden ist, muß für die Ausbildung des zweiten wegen der auftretenden Spannungen eine ausgesprochene Neigung zu selektiver Bevorzugung einzelner Formen vorhanden sein. Die Umwandlung monozyklischer Zucker oder Zuckerderivate in bizyklische kann nicht ebenso zahlreiche Bildungsmöglichkeiten gestatten wie die direkte Entstehung der Glucoside oder anderer monozyklischer Abkömmlinge aus freien Zuckern. Ausgesprochen selektiv in ihrer Bildung, eindeutig in ihrer Wiederaufspaltung bieten polyzyklische Stoffe ihrer allgemeinen Natur nach vorerst die beste Grundlage für Versuche, den einsinnigen Verlauf der natürlichen Glucosidbildung am Hand unserer Erfahrung zu erklären.

### Besprechungen.

**Dimmer, F., Der Augenspiegel und die ophthalmologische Diagnostik.** Dritte, vollständig umgearbeitete und vermehrte Auflage. Leipzig und Wien, Franz Deuticke, 1921. XI, 633 S., 146 Abb. im Text und 16 Tafeln. 11 S. Erläuterungen. Preis geheftet M. 170,—.

„Dem Meister der Augenheilkunde, Ernst Fuchs, widmet dieses Buch zu seinem 70. Geburtstag (14. Juni 1921) in Verehrung und Freundschaft der Verfasser.“ Diese Zueignung trägt das Blatt mit der Wiedergabe des Marmorbildnisses, das im Hörsaal der 1. einst Arltschen, jetzt Mellerschen Augenklinik in Wien am Geburtstag des gefeierten Lehrers enthüllt worden ist. Das Buch erschien im Jahre der 100. Wiederkehr des Geburtstages *Hermanns von Helmholtz*, mit dessen Bildnis es geschmückt ist. In der dritten, unter gleichem Titel wie die vorigen herausgegebenen Auflage liegt ein völlig neues und umfangreiches Werk vor uns. Das Buch hat mit dem Verfasser weiter gelebt. Statt einer knappen Einführung für den Anfänger finden wir jetzt eine eingehende, dem ausgebildeten Augenarzt sehr willkommene Darstellung des heutigen Wissens. Der Verfasser gibt ein anschauliches Bild von der Entwicklung, die der Augenspiegel, seit ihn *Helmholtz*

vor einem halben Jahrhundert der Augenheilkunde schenkte, und sein Anwendungsgebiet durchlaufen haben, eine Entwicklung, die noch keineswegs steht. Der Stoff gliedert sich von selbst in zwei große Teile. Der erste behandelt nach einer optischen Einleitung den Augenspiegel und seine Anwendung, den normalen Augenhintergrund und die Bestimmung des Brechungszustandes, während der zweite der Deutung der bei der Augenspiegeluntersuchung sichtbaren Abweichungen von der Regel gewidmet ist. Darunter fallen einmal die Fehler der brechenden Teile und dann das große Gebiet der Veränderungen am Augenhintergrund, das weitaus den breitesten Raum, fast zwei Drittel des Bandes einnimmt. Die Theorie des Augenspiegels wird wie alle anderen optischen Fragen ohne die Voraussetzung besonderer Kenntnisse in einfachen und meist auf geometrische Strahlenverfolgung gestützten Darlegungen vermittelt. Aus der großen Menge der Formen, in die der Augenspiegel in der Folge gebracht worden ist, sind wenige wichtige Entwicklungsstufen bis zu den heutigen verwickelten und bestimmten Sonderzwecken dienenden, vollkommenen Geräten beschrieben und abgebildet. Auf den ursprünglichen, aus einem Satz planparalleler Spiegelglasplatten bestehenden Helmholtzischen Spiegel folgte schon nach Jahresfrist der durchbohrte Hohlspiegel *C. G. Th. Ruets*. Die Anbringung einer drehbaren Scheibe mit einem Kranz von kleinen Linsen ermöglichte die Bestimmung des Brechungszustandes des untersuchten Auges im aufrechten Bild (Refraktionsspiegel). Der Ausbildung des Baues elektrischer Lichtquellen und besonders kleiner lichtstarker Lämpchen folgte ein neuer Anstieg. Die Lichtquelle konnte mit dem Spiegel vereinigt werden, was besonders für die Untersuchung bettlägeriger Kranker im aufrechten Bild große Vorteile hat. Aber für die optische Vervollkommenung des Gerätes war diese Errungenschaft von noch viel größerer, grundlegender Bedeutung. In gefälliger Form und bei Sicherheit und Zuverlässigkeit der Anwendung konnten nun die reflexfreien Augenspiegel verwirklicht werden, wie sie von *H. Wolff*, *W. Thorner* und *A. Gullstrand* angegeben worden sind. Bei ihnen sind die störenden Spiegelbilder, die besonders die an Luft grenzenden brechenden Flächen von der Lichtquelle liefern, auf geometrischem Wege beseitigt, ein Ziel, das schon *Helmholtz* durch die Ausnützung der Polarisation des an den ebenen Glasplatten seines Gerätes gespiegelten Lichtes erstrebt hatte. Die schönste und vollkommenste Beobachtungsweise, die beidäugige körperliche Wahrnehmung der feinsten Höhenunterschiede steht heute auch wenig geübten Beobachtern offen. — Ein neues Gebiet hat *E. Salzmann* mit der Ophthalmoskopie der Kammerbucht, des Winkels zwischen der Hornhaut und der Regenbogenhaut, betreten, das er zunächst einfach mit Linse und Augenspiegel, später mit Hilfe eines Haftglases durchsuchte. Auf einem anderen Weg ist *A. Vogt* zu neuen Fortschritten gelangt. Er befreite das zur Untersuchung benutzte Licht mit Hilfe eines Kupfersulfat-Erioviridinfilters von seinem roten Bestandteil und verschaffte so dem Beobachterauge die Möglichkeit, die schwächeren und andersfarbigen Lichter wahrzunehmen, die vor allem von der Netzhaut ausgehen. Auf diese Weise tritt die gelbe Farbe der Mittelgrube erstaunlich deutlich hervor, die Nervenfasern der Netzhaut lassen sich in ihrem Verlauf verfolgen und eine Menge anderer feinerer Einzelheiten, besonders auch solche krankhafter Art, erscheinen deutlich im aufrechten Bild.



Eine andere, strenggenommen nicht ganz unter die Überschrift Augenspiegel passende Verfeinerung unserer Untersuchungsverfahren, das der fokalen Beleuchtung mit der Gullstrandschen Spaltlampe, wurde vom Verfasser mit Recht in das Buch aufgenommen. Sie dient vorwiegend der Durchsichtung der brechenden Teile und hat eine Menge neuer Kenntnisse insonderheit über den Bau der Linse zu Tag gefördert. Schon im Krieg hatte sie sich da und dort einen gesicherten Platz in den laufenden klinischen Untersuchungen erobert. Dank ihrer Hilfe gelangte *L. Köppe* zur Beobachtung des Augenhintergrundes mit dem Hornhautmikroskop.

Wenn schließlich noch der Photographie des lebenden Augenhintergrundes gedacht wird, so ist damit ein Gebiet betreten, auf dem wir nach den früheren Arbeiten von *Gerloff*, *W. Thorner* und *H. Wolff* besonders *Dimmers* Bemühungen zu Dank verpflichtet sind. Der von *D.* angegebene Apparat wurde von *Carl Zeiß* in Jena unter der wesentlichen Mitwirkung von *A. Köhler* und *M. von Rohr* hergestellt. Es handelt sich nicht etwa nur um eine mehr oder weniger theoretische Lösung, die sich vielleicht im Laboratorium anwenden läßt. Die dem Buch beigegebenen Abbildungen tun die Leistungsfähigkeit des großen Gerätes dar und zeigen, wie erstaunlich viel die kleinen Bilder bieten, obwohl ja völlig auf die Hilfe der Farbe verzichtet ist.

In dem Unterabschnitt über die Bestimmung des Brechungszustandes verdient die Behandlung der Schattenprobe hervorgehoben zu werden, in der *Salzmans* Mitarbeit erwähnt wird. Im Gegensatz zu anderen Darstellungen führt der Verfasser die Erklärung der Erscheinungen mit der Verfolgung der Strahlenbegrenzung ganz im Augenraum des Untersuchten durch. Für die Zeichnungen bietet dies im Gegensatz zu der eigentlich näherliegenden Wahl der Außenwelt, in der doch der Arzt beobachtet, den Vorteil der kleineren Zeichnung und vor allem der größeren und daher übersichtlicheren Winkel.

Der große Abschnitt über die Veränderungen des Augenhintergrundes bei Krankheiten hat bloß für den Arzt und vielfach nur für den Augenarzt Bedeutung, und deshalb soll hier nicht näher auf Einzelheiten eingegangen werden. Für die Fachwelt bildet dieser Teil eine außerordentlich wertvolle Bereicherung, zumal als Nachschlagewerk durch die Angabe der wichtigsten Schriften, die jedem Einzelabschnitt beigelegt ist.

Von den 16 Tafeln enthalten die fünf ersten mikrophotographische Aufnahmen von Gewebsschnitten (aufgenommen von *E. Bachstez*). Auf Tafel VII—XIV finden sich 120 vom Verfasser selbst mit seinem Apparat nach dem Leben hergestellte Photographien des Augenhintergrundes bei den verschiedensten krankhaften Zuständen. Sie sind in der Größe der ursprünglichen Platte gehalten. Diese reiche Sammlung bedurfte nur weniger Ergänzungen durch die Wiedergabe seltener oder zur Photographie ungeeigneter Befunde. So sind 30 Bilder, die aus anderen Werken entnommen sind, in der Größe der übrigen Photogramme auf Tafel XV und XVI vereinigt. Die sämtlichen Augenhintergrundsbilder und die Mikrophotographien, also alle Tafeln außer Nr. VI sind im Lichtdruckverfahren hergestellt.

*H. Erggelet, Jena.*

**Graff, K., Astrophysik.** Dritte völlig neubearbeitete Auflage von *J. Scheiners* „Populäre Astrophysik“. Leipzig, B. G. Teubner, 1922. VIII, 459 S., 17 Tafeln und 254 Figuren im Text. Preis geh. M. 125,—; geb. M. 145,—.

Neben dem Bande „Astronomie“ der Kultur der Gegenwart (Leipzig, Teubner, 1921), der mehrere bedeutungsvolle Artikel astrophysikalischen Inhaltes vom Verfasser selbst *Prof. K. Graff*, dann *E. Pringsheim* und *P. Guthnick* enthält und der neuen Auflage von *Newcomb-Engelmans* populärer Astronomie (Leipzig, Engelmann, 1921), die wohl das gesamte Gebiet der Astronomie behandelt, aber doch die astrophysikalischen Probleme vor denen der theoretischen bevorzugt, ist das vorliegende Buch das dritte, das fast binnen Jahresfrist auf dem Büchermarkt erscheint. Eine bemerkenswerte Tatsache, die Zeugnis ablegt von dem Interesse, das trotz aller sonstigen merkwürdigen geistigen Orientierung der heutigen Leserwelt den exakten Wissenschaften und unter ihnen namentlich der Astronomie entgegengebracht wird. Es ist, wie das *Newcomb-Engelmans*sche, kein neues Buch, sondern ein altes in einem neuen Gewande. 1907 erschienen, war es das erste, das eine Darstellung der Grundlagen und Ergebnisse der Astrophysik umfaßte und, wiewohl nur in populärer Form geschrieben, erfreute es sich doch, sowohl wegen des Namens des Verf., der bekanntlich selbst einen hervorragenden Anteil an dem Aufbau dieses neuen Zweiges der Astronomie hatte, wie auch durch seine klare und sachgemäße Darstellung, selbst in astronomischen Kreisen, allgemeiner Anerkennung und dürfte zur Weiterentwicklung der Wissenschaft nicht unwesentlich beigetragen haben.

Aber seitdem, besonders seit 1912, dem Jahre des Erscheinens der zweiten, noch von *Scheiner* selbst besorgten Neuauflage des Buches haben sich die astrophysikalischen Forschungsmethoden so sehr erweitert und vertieft und damit, sowie durch den Bau der Riesenrefraktoren und ebensolcher Reflektoren, wie sie namentlich in den letzten zehn Jahren in Amerika ausgeführt wurden, die Ergebnisse so sehr gehäuft, daß eine Neuherausgabe des Buches nur bei einer vollständigen Umänderung möglich schien. Dieser mühevollen Arbeit unterzog sich der Verfasser in der Art, wie er selbst im Vorwort erwähnt, daß er lediglich die Stoffbehandlung und die Aufeinanderfolge der Artikel dem ursprünglichen Werke entnahm, den Inhalt aber fast ganz änderte und den neugewonnenen Forschungsergebnissen anpaßte. Besonders der zweite Teil, der gerade diese behandelt, ist so gut wie neu abgefaßt und nur hie und da erinnern noch einzelne kleinere Abschnitte an das ursprüngliche Werk.

Es sei hier gleich erwähnt, daß es dem Verf. gelungen ist, ein fast neues Buch zu schaffen, das sich würdig an das ältere, durch den Namen seines Verf. berühmt gewordene sowie auch an die Neuauflage der *Newcomb-Engelmans*schen Astronomie anreicht. Daß auch der Druck und die Ausstattung des Buches, seine Ausschmückung mit Figuren und Abbildungen im Texte und im Anhang ganz vorzüglich sind, ist bei einem Verlage, wie es der von *B. G. Teubner* ist, nicht anders zu erwarten. —

In den Einzelheiten seiner Ausführungen will der Verf. eine strenge Scheidung zwischen Astrometrie und Astrophysik durchführen, und nur so ist es zu verstehen, daß der Leser bedauerlicherweise nichts erfährt von den Versuchen zur Bestimmung der Einsteinschen Rotverschiebung der Spektrallinien bei der Sonne und den Fixsternen, oder von dem K-Effekt in deren Radialbewegungen, ebenso wenig von der allgemeinen Triftbewegung der Sterne wie von der als sicher festgestellten Tatsache, daß der aus den Eigenbewegungen abgeleitete Apex der Sonnenbewegung systematische



Unterschiede zeigt für die einzelnen Spektralklassen. Demgegenüber ist rühmend hervorzuheben die große Zahl schematischer Figuren, die den pädagogischen Wert des Buches erhöhen, so die Abb. 201 und 202 p. 328, die die Gitterbilder von Sternen verschiedener Helligkeit und verschiedener Farbe darstellen und damit erst klar andeuten, was man unter effektiver Wellenlänge versteht. Man bemerkt auch hier und da einige mathematische Formeln, ja sogar deren Ableitungen, und würde deren noch mehr wünschen, wenn das Buch tatsächlich seinen Zweck erfüllen soll, nicht nur dem Laien, dem es zugedacht ist, sondern auch dem Fachmann als Nachschlagebuch zu dienen, aber auch den ersteren kann man langsam zur Verdauung einiger mathematischer Formeln erziehen und er wird deren Vorteile bald erkennen. Alles in allem zusammenfassend, kommt man bei Durchsicht des Buches zur Überzeugung, daß der Verf. ein Meister seines Faches und zugleich ein kundiger Führer ist, der dem Leser in mustergültiger Weise bekanntgibt, welches gewaltige Rüstzeug in der Hand des Astrophysikers die einfache Zerlegung des Lichtes, das uns von den Sternen zukommt, in seine sieben Hauptfarben, die Bestimmung seiner Farbe und die Messung seiner Intensität ist, und der uns auf diese Art einen tiefen Einblick in die Geheimnisse der Sternenwelt eröffnet.

S. Oppenheim, Wien.

**Aigner, F., Unterwasserschalltechnik. Grundlagen, Ziele und Grenzen.** (Submarine Akustik in Theorie und Praxis.) Berlin, M. Krayn, 1922. Gr. 8°. 322 S. und 169 Abbildungen. Preis geh. M. 100,—; geb. M. 120,—.

Das vorliegende Buch behandelt ein Gebiet der technischen Physik, welches den meisten Ingenieuren und Physikern bisher völlig unbekannt sein dürfte. Das liegt einmal an der rapiden Entwicklung, welche die submarine Akustik während des Krieges genommen hat, und zweitens daran, daß ihre Resultate während des Krieges naturgemäß streng geheim gehalten werden mußten. Vergleicht man den Stand der submarinen Akustik vor dem Kriege mit dem Stande, wie ihn das Aignersche Buch zeigt, so ist es kaum zu weit gegangen, wenn man von einer neuen technischen Wissenschaft spricht. Zwar waren auch schon vor dem Kriege sehr achtenswerte praktische Resultate erzielt worden, es fehlten aber doch vielfach die theoretischen Grundvorstellungen für erfolgreiches systematisches Weiterarbeiten. Unter dem Zwange des Krieges wurden dann auf breiter theoretischer Grundlage sowohl von der Marine als auch von der Industrie und den beiderseitigen wissenschaftlichen Mitarbeitern zahlreiche grundlegende Probleme systematisch bearbeitet und vielfach auch geklärt.

Aigner hat selbst seit vielen Jahren an der Entwicklung der Unterwasserschalltechnik mitgearbeitet, so daß es besonders zu begrüßen ist, daß er sich der bisher fehlenden zusammenfassenden Darstellung dieses Gebietes unterzogen hat. Das vorliegende Buch ist in erster Linie für den Ingenieur bestimmt, dem es als „leichtfaßliches, möglichst vollständiges Nachschlagewerk“ dienen soll. Ein sehr ausführliches alphabetisches Inhaltsverzeichnis sowie ein umfangreiches Literaturverzeichnis erleichtern die Benutzung des Buches wesentlich. Mit Rücksicht auf den Leserkreis mußten zahlreiche Schwingungsprobleme auf breiterer Basis erörtert werden, als es für den Physiker notwendig gewesen wäre.

Das 1. Kapitel gibt einen kurzen historischen Überblick. Im 2. Kapitel, über das „Schallfeld“, wer-

den die Grundlagen einer wissenschaftlichen Unterwasserschalltechnik gegeben. Die Kapitel 3 bis 5 beschäftigen sich mit den „Schallantennen“. Während im 3. Kapitel die allgemeinen theoretischen Grundlagen besprochen werden, ist das 4. Kapitel den Sendeantennen, das 5. den Empfangsantennen gewidmet, wobei die verschiedensten praktischen Ausführungsformen eingehend erläutert werden. Im 6. Kapitel werden die verschiedenen Methoden der akustischen Peilung und Vermessung beschrieben, wobei nach Ansicht des Ref. ein näheres Eingehen auf die Theorie des Richtungshörens erwünscht gewesen wäre. In Kapitel 7 sind einige fertig durchkonstruierte Sender- und Empfangsapparaturen und ihr Einbau beschrieben. Das letzte, 8. Kapitel endlich enthält eine ganz kurze Zusammenstellung der Anwendungsmöglichkeiten der submarinen Schallsignalgebung.

Bei einem Buch wie dem vorliegenden, in welchem einer der anerkanntesten Fachmänner ein fast unbekanntes Wissensgebiet erstmalig zusammenfassend darstellt, scheint es mir nicht erwünscht, daß der Ref. auf irgendwelche Einzelheiten eingeht, soweit sie nicht etwa von besonderem Belang sind. Er könnte sonst auch leicht in den Verdacht kommen, nur dokumentieren zu wollen, daß er das Buch wirklich gelesen hat. Es genüge deshalb die Bemerkung, daß nach Ansicht des Ref. der Zweck des Aignerschen Buches voll erreicht ist. Es ist zurzeit „das“ Buch, welches jeder auf dem Gebiete der Unterwasserschalltechnik tätige Ingenieur sowie jeder, der sich über dieses Gebiet der technischen Physik orientieren will, zur Hand nehmen muß.

E. Waetzmann, Breslau.

**Bohr, Niels, Drei Aufsätze über Spektren und Atombau.**

Tagesfragen aus den Gebieten der Naturwissenschaften und der Technik Heft 56. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, 1922. VI, 148 S. und 7 Abbild. Preis geh. M. 120,—.

Nachdem vor kurzem eine Zahl von Aufsätzen von Niels Bohr über seine Atomtheorie durch eine Übersetzung von Stinzing den deutschen Physikern und Chemikern bequem zugänglich gemacht worden ist, folgen jetzt drei Aufsätze über Spektren und Atombau, die in gleicher Weise einige an verschiedenen Stellen erschienene Vorträge von Niels Bohr zu einem Bande zusammenfassen. Der erste Aufsatz über das Wasserstoffspektrum ist ein Vortrag, der schon 1913 im Fysisk Forening in Kopenhagen gehalten wurde. Da er damals nur in der dänischen Zeitschrift Fysisk Tidskrift erschienen ist, dürfte er fast allen deutschen Physikern unbekannt sein. Schon dieser Vortrag rechtfertigt allein in höchstem Maße die Herausgabe des Bändchens. Er kann natürlich, nachdem eine neunjährige Entwicklung der Atomtheorie seit seinem Niederschreiben verflossen ist, demjenigen, der das Gebiet verfolgt hat, nichts prinzipiell Neues mehr bringen, aber er beweist aufs deutlichste, wie der geniale Schöpfer der Atomtheorie schon von vornherein alle Gedankengänge, die er später zum Ausbau seiner Theorie benötigt, verwendet hat. Der Plan zu dem großen Gebäude steht ihm schon damals deutlich vor Augen. Wir finden hier schon die Variation der Rydbergkonstanten von Element zu Element durch die Mitbewegung des Kernes, und wir finden auch ganz klar ausgesprochen das Korrespondenzprinzip, dessen systematischer Verwendung Niels Bohr vor allem den weiteren so äußerst erfolgreichen Ausbau seiner Theorie verdankt. Diese Fortschritte werden in großen Zügen im zweiten und dritten Vortrage geschildert. Sie sind beide schon in der Zeitschrift für Physik erschienen und von den engeren Fachgenossen ihrem



großartigen Inhalt nach entsprechend gewürdigt. Hoffentlich veranlaßt das Erscheinen in Buchform vor allem auch die Chemiker, sich mit der Bohrschen Vorstellungswelt genügend vertraut zu machen. Wenn es auch durchaus noch nicht an der Zeit ist, den Versuch zu machen, komplizierte organische Verbindungen nach der Bohrschen Theorie zu deuten, wie hin und wieder ohne Erfolg versucht wird, so scheint es doch schon heute auch für den Chemiker von übertragender Wichtigkeit, die ganz präzisen Vorstellungen, gewissermaßen das Schema kennen zu lernen, das Bohr für den Bau sämtlicher Atome des periodischen Systems aufstellt. Hierfür wird das Studium des dritten Vortrags vermutlich von größerem Wert sein, als das Lesen der ausführlichen Veröffentlichungen, zu denen Bohr wegen der übergroßen Fülle seiner Resultate noch nicht gekommen ist und deren Erscheinen die Physiker mit größter Spannung entgegensehen.

J. Franck, Göttingen.

**Landé, A., Fortschritte der Quantentheorie.** Dresden, Theodor Steinkopff, 1922. XI, 91 S. Preis M. 30,—.

Der Verf. hat sich der Aufgabe unterzogen, über den gegenwärtigen Stand einer in schneller Entwicklung befindlichen Wissenschaft, der Quantentheorie, zu berichten, d. h. im wesentlichen: der Atom- und Spektralthorie. Voran steht — nach einem knappen Überblick über die Mechanik und die Quantelung separierbarer Systeme — die Bohr-Sommerfeldsche Theorie des Wasserstoffatoms und des ionisierten Heliumatoms, der einzigen atomaren Gebilde, die man heute mathematisch völlig beherrscht. Gleich die folgenden Abschnitte führen zu den Problemen, die seit einigen Jahren im Mittelpunkt des physikalischen Interesses stehen: zu den komplizierten Atomen (Serienspektren) und den Molekülen (Bandenspektren). Die halb theoretische, halb empirische Behandlung des Stoffes ist der gebräuchlichen Forschungsmethode durchaus angemessen; an dem etwas fragmentarischen Charakter trägt nicht der Verf. schuld, sondern die Schwierigkeit des Gegenstandes. In dem Paragraphen über das Heliumatom beschreibt der Verf. das von ihm selbst zuerst vorgeschlagene Modell, das sich in den neuen systematischen Untersuchungen von Bohr zu bewähren scheint. Auch in dem Abschnitt, der dem Stark- und dem Zeemaneffekt gewidmet ist, kann der Verf. über eigene Arbeiten berichten: über die Analyse der schönen und wichtigen Gesetzmäßigkeiten in den anomalen Zeeman-effekten.

Nach einer kurzen Einleitung in die Theorie der chemischen Konstanten der Gase, welche sich eng an den Gedankengang von E. Brody anschließt, folgt ein letzter aber umfangreichster Abschnitt, der ein getreues Referat über Bohrs Arbeiten „On the quantum theory of line-spectra“, Teil I und II (Kopenhagener Akademie 1918) darstellt. Es ist eine sehr verdienstvolle Tat, diese grundlegenden Arbeiten weiteren Kreisen zugänglich gemacht zu haben — zugänglich wenigstens im wörtlichen konkreten Sinne, nicht so sehr gedanklich, denn der Gegenstand ist von Natur abstrakt und schwierig. Es handelt sich im wesentlichen um Bohrs Methode der Störungsquantelung und sein Korrespondenzprinzip, das schon in einem früheren Abschnitt (IV) zur Geltung kommt.

Die Behandlung des Stoffes ist im wesentlichen abstrakt, auch da, wo anschauliche Interpretation der Theorie möglich und vielleicht auch vorteilhaft gewesen wäre. An manchen Stellen hätte wohl eine geringere Sparsamkeit mit Figuren das Verständnis erleichtern

können. Von der Formelsprache ist reichlich Gebrauch gemacht. Das Buch wird namentlich denjenigen von Nutzen sein, die bereits eine erste Orientierung in dem Vorstellungskreise der Atomphysik gewonnen haben und eine Vorbereitung auf das Studium der Originalliteratur wünschen.

G. Wentzel, München.

**Georgiewics, G., Handbuch der Farbenchemie.**

Fünfte erweiterte Aufl. Leipzig und Wien, Franz Deuticke, 1922. VIII, 504 S. Preis M. 250,—.

Die günstige Aufnahme, welche die letzte, 1913 von E. Grandmougin bearbeitete Auflage des bekannten Lehrbuchs mit Recht erfuhr, machte eine weitere notwendig, die diesmal von G. Georgiewics selbst besorgt ist. Die großen Vorzüge der früheren finden sich, wie zu erwarten, auch bei dieser: die klare, für derartige Werke jetzt schon fast unvermeidliche Anordnung des Stoffes, die gleichmäßige Berücksichtigung sowohl der wissenschaftlichen wie der technischen Gesichtspunkte, die Schilderung der historischen Entwicklung der Industrie u. a. m. Die technischen Veränderungen, die während und nach dem Kriege zu verzeichnen gewesen wären, sind verhältnismäßig gering, und so konnten verschiedene Kapitel der letzten Auflage fast unverändert wieder aufgenommen werden, wie die über Küpen- und Schwefelfarbstoffe und Indigo. Andere, wie die Chinoniminfarbstoffe, sind umgruppiert und mit neuen „modernen“ Formeln ausgestattet, deren Vorzüge dem Studierenden ohne ausführlichere Begründung um so weniger verständlich sein dürften, als sie nicht konsequent in anderen Kapiteln durchgeführt sind. Dafür geht die Pietät für die ursprüngliche Fassung an anderen Stellen verschiedentlich zu weit. Pyrazolonhaltige Azofarbstoffe von den anderen als besondere Gruppe abzutrennen, ist lange nicht mehr gut angängig. Man vermißt in diesem Kapitel auch völlig die interessanten Arbeiten des letzten Jahrzehnts über die Bildungsvorgänge der Azofarbstoffe. Der Umfang des Werks konnte um 64 Seiten verringert werden, ein an sich erfreuliches Resultat, das aber z. T. dadurch erzielt ist, daß das Kapitel „Konstitution und Farbe“ gekürzt wurde und die zahlreichen auf diesem Gebiet gemachten neueren Beobachtungen unberücksichtigt blieben. Verf. hat über dies Thema kürzlich ein eigenes Werk in der Schweiz herausgegeben (Die Beziehungen zwischen Farbe und Konstitution bei Farbstoffen, Zürich, Schultheß & Co., 1921), aber der Hinweis darauf wird, wenigstens für den deutschen Studierenden, die Lücke kaum weniger fühlbar machen.

Eine Bemerkung des Verf. soll nicht mit Still-schweigen übergangen werden. Er hält die Grandmougin'sche Fassung für den Studierenden ihrer Ausführlichkeit wegen für kaum mehr verwendbar. Das ist für deutsche Hochschulverhältnisse glücklicherweise kaum zutreffend. Die Anforderungen, die hier gestellt und durchschnittlich auch anstandslos befriedigt werden, sind höher, als der den deutschen Verhältnissen ferner stehende Verf. meint.

P. Friedlaender, Darmstadt.

**Müller, Carl, Rebschädlinge und ihre neuzeitliche Bekämpfung.** Zweite umgearbeitete Auflage. Karlsruhe i. Baden, S. Braun, 1922. 236 S., 70 Textabb., 1 farb. Tafel u. 1 Karte. Preis geh. M. 100,—; geb. M. 120,—.

Das Buch von K. Müller ist außerordentlich anregend geschrieben und es bietet eine Fülle von Tatsachen nicht nur für den Weinbauer im besonderen, sondern auch für Volkswirtschaftler und Biologen. Mit größtem Nutzen wird es auch zu Lehrzwecken zu



benutzen sein, zumal bei dem mehr und mehr in Aufnahme kommenden Lehrfach „Schädlingskunde und Pflanzenschutz“ ein Bedarf an Büchern wie dem vorliegenden vorhanden ist. — Der Stoff ist in 13 Vorträge gegliedert. Der erste Vortrag bringt allgemeine Erörterungen über Rebkrankheiten und deren Bedeutung für den Weinbau. Eindringlich betont Verf., daß der starke Rückgang unseres Weinbaues durch eingeschleppte Schädlinge — tierischer und pflanzlicher Art — verursacht worden ist. Sind doch die Großschädiger des Weinbaues wie: die Reblaus (*Phylloxera vastatrix*), die *Peronospora* (*Plasmopara viticola*) und der Rebenmehltau (*Oidium Tuckeri*) amerikanischen Ursprungs. Der Grund, warum unsere deutschen Reben so stark unter diesen Schädlingen leiden, liegt, wie Verf. ausführt, in der geringen Widerstandsfähigkeit gegen diese Parasiten. Weinbau treiben, sagt M., heißt heute sachgemäße Schädlingsbekämpfung treiben. Welche Unsumme von Arbeit und Unkosten damit verknüpft ist, darüber geben die diesbezüglichen Ausführungen Aufschluß. Dieses Kapitel sollten besonders Volkswirtschaftler und auch alle Weintrinker einmal lesen, damit sie von der irrigen Vorstellung loskommen, der Weinbau werfe mühelos Riesengewinne ab.

Ferner gibt M. eine Gruppierung der Rebkrankheiten im allgemeinen Teil. Er unterscheidet: a) *Physiologische Krankheiten*, die durch falsche Kultur, Düngung, chemische und physikalische Einflüsse verursacht werden; b) *Pilzkrankheiten*, die von besonderer Wichtigkeit sind: die *Peronospora*, der Rebenmehltau, der rote Brenner und der Grauschimmel; c) *die Krankheiten durch Tiere*. Hier steht oben an der Befall durch Reblaus, Heu- und Sauerwurm, Milbenerkrankungen und der Rebstecher. Der erste Abschnitt schließt dann mit einer Übersicht, welche Institute und behördliche Einrichtungen der Förderung der Rebkultur und der Bekämpfung der Schädlinge zur Verfügung stehen. — Die weiteren Kapitel sind dann mehr speziell gehalten, und es werden darin die oben erwähnten Krankheiten erschöpfend behandelt. Drei Abschnitte sind der Biologie und Bekämpfung der *Peronospora* gewidmet. Welche Verheerungen dieser Pilz in den starken Befallsjahren 1912 und 1913 anrichtete, wird durch Zahlenmaterial belegt. In Baden war es allein ein Ernteausschlag für über 17 Millionen Goldmark. Ausführlich wird auch die *Peronospora*-Vorhersage (Incubationszeit und Incubationskalender) sowie die Bekämpfung des Schädlings durch Spritzen mit Kupferkalkbrühe und anderen wirksamen Mitteln (Kurtakol, Nosperol) dargestellt. Ein weiterer Abschnitt behandelt den Rebenmehltau, seine Biologie und die Bekämpfung durch Schwefelung der Reben. Die übrigen wichtigeren pilzlichen Rebkrankheiten (roter Brenner *Pseudopeziza tracheiphila*, Grauschimmel *Botrytis cinerea* und Wurzelschimmel *Rosellinia necatrix*) kommen in einem gemeinsamen Abschnitt zur Besprechung.

Die nachfolgenden Kapitel beschäftigen sich mit den Rebkrankheiten durch Tiere. Die Heu- und Sauerwurmfraße, die Biologie der Falter, die neuzeitliche Bekämpfung mit Arsenpräparaten und die wirtschaftliche Bedeutung dieser Schädiger bilden ein umfangreiches Kapitel. Ganz eingehend, aber stets unter Hervorhebung der wesentlichen Punkte, kommt die Reblaus, ihre Lebensweise (Reblausrassen: *Vastatrix*-u. *Pervastatrix*-Formen), ihre Verbreitung und ihre Bekämpfung, zur Behandlung in drei Kapiteln. Namentlich die Frage der Züchtung reblauswiderstandsfähiger

Reben wird nach allen Richtungen hin kritisch behandelt.

Den Schluß des Buches bildet ein wieder mehr allgemein gehaltener Abschnitt über neuzeitlichen Weinbau, worin Verf. nochmals eindringlich betont, welche Milliardenwerte hier auf dem Spiele stehen, und daß der zukünftige Weinbau schließlich eine Frage des Erfolges der Schädlingsbekämpfung sei. Was eine auf biologischen Kenntnissen aufgebaute, sachgemäße Schädlingsbekämpfung im Weinbau zu leisten vermag, wird durch sehr anschauliche Beispiele belegt. — Was das Buch von M. besonders wertvoll macht, ist die objektive Darstellung der Probleme unter Heranziehung der gesamten Literatur bis in die neueste Zeit. Das reiche Bildmaterial ist vom didaktischen Standpunkt aus vorzüglich gewählt, vom technischen Standpunkte aus ist es friedensmäßig erstklassig, wie überhaupt die ganze Buchausstattung. Es ist freudig zu begrüßen, daß die angewandte Biologie über ein Nachschlagebuch wie das vorliegende verfügt. In jedem modernen Weinbaubetrieb ist es als täglicher Ratgeber unentbehrlich.

Albrecht Hase, Berlin-Dahlem.

## Physiologische Mitteilungen<sup>1)</sup>.

**Vererbung und Entwicklung der musikalischen Veranlagung.** (V. Haecker, Zeitschr. f. induct. Abstammungs- u. Vererbungsl. Bd. 27, H. 3/4, S. 239—240, 1922.) Bei den gemeinsam mit Th. Ziehen ausgeführten Untersuchungen handelt es sich um den Versuch, auf Grund statistischer und genealogischer Feststellungen, gewonnen mittels von Fragebogen, die erbliche Grundlage einer psychischen Begabung zu analysieren. Die musikalische Veranlagung setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen: sensorielle und motorische Komponente, retentive Komponente (besonderer Fall: absolutes Tongedächtnis), synthetisch-rezeptive und -analytische, synthetisch-produktive, ideative und affektive Komponente, rhythmische Begabung, die selbst wieder aus zahlreichen Komponenten besteht. 5 Stufen der Veranlagung werden unterschieden: # sehr musikalisch, + musikalisch,  $\mu$  etwas musikalisch, — nicht musikalisch, = absolut unmusikalisch. Die Ehen werden eingeteilt in positiv- und negativkonkordante und diskordante (patro- bzw. matropositive), die Ehen der Ausfüllenden werden als A-Gruppen, die Ehen der Verwandten als B-Gruppen bezeichnet (letzteres Material weniger zuverlässig). In diskordanten Ehen ist der Prozentsatz von # - und + -Nachkommen wesentlich größer als der von — und = -Nachkommen, was für Dominanz der positiven Veranlagung spricht. In matropositiven Ehen sind mehr # - und — -Nachkommen als in patropositiven, männliche # -Nachkommen überwiegen stark die weiblichen, was vielleicht auf geschlechtliche Bedingtheit der # -Veranlagung hinweist. Bei weiblichen + -Nachkommen zeigt sich deutlich Wirkung der Erziehung durch positive Mütter. In positiv-konkordanten Ehen finden sich viele — und = -Nachkommen, in negativ-konkordanten viele + - und # -Nachkommen. Vielleicht sind Rassenunterschiede hinsichtlich der Dominanz vorhanden. Vielfach ist eine Lockerung der Komplexion zu konstatieren, feste Korrelation mit Begabung für bildende Künste, mit Veranlagung für dichterische, sprachliche, mathematische Begabung wurde nicht

<sup>1)</sup> Aus den Ber. üb. d. ges. Physiol. und dem Zentralbl. f. d. ges. Hygiene.



konstatiert. Häufig verbunden sind absolutes Tongedächtnis und sprachliche Begabung, ebenso musikalische Begabung und depressive psychopathische Konstitution. Je stärker die  $+$ -Belastung ist, desto früher tritt die  $+$ -Begabung in der Regel auf.

H. Nachtsheim, Berlin.

**Grenze der Widerstandsfähigkeit gegen Kälte bei den Raupen von *Cossus cossus*.** (Marcel Duval und Paul Portier, Cpt. rend. des séances de la soc. de biol. Bd. 86, Nr. 1, S. 2—4, 1922.) Frühere Beobachtungen hatten gezeigt, daß gefrorene Raupen des großen Holzbohrers im Winter nach Auftauen wieder zum Leben erwachen, im März dagegen eine Abkühlung unter  $0^{\circ}$  nicht mehr ertragen. Verff. untersuchen jetzt an diesem Objekt die Grenze der Kälteresistenz. *Cossus*-raupen, die etwa 1 Stunde in einer Kältemischung von  $-15$  bis  $-17^{\circ}$  gehalten waren, werden selbst bei sehr raschem Auftauen (Eintauchen in Wasser von  $+40^{\circ}$ ) wieder lebendig. Bricht man gefrorene Raupen entzwei, so bewegt sich das Vorderende energisch, wenn man es rasch auftaut. Wird eine bei  $-17^{\circ}$  gefrorene Raupe für einige Minuten mit flüssiger Luft auf etwa  $-190^{\circ}$  abgekühlt, so ist sie nach langsamem Auftauen bei Laboratoriumstemperatur tot. Ebenso nach 50 Minuten langem Abkühlen auf  $-63^{\circ}$ , erzielt durch Schmelzen gefrorenen Chloroforms. Um die zum Tode führende Temperatur noch genauer zu ermitteln, wurden die Raupen in ein doppelwandiges Kryoskoprohr eingeschlossen und mit diesem in ein mit etwas flüssiger Luft beschicktes Dewarsches Glas gebracht. Durch Einstellen des Kryoskoprohrs in größerer oder geringerer Nähe der flüssigen Luft ließ sich die Temperatur in seinem Innern beliebig variieren und vermittels eines bei der Raupe angebrachten Thermometers ablesen. So konnte die tödliche Temperatur bei etwa  $-21^{\circ}$  ermittelt werden. Bei einer großen, senkrecht mit dem Kopf nach oben in dem Kryoskoprohr aufgestellten Raupe gefroren die der flüssigen Luft näheren hintersten Leibesringe bei  $-25^{\circ}$ , während am Vorderende die Temperatur nur auf  $-20^{\circ}$  sank. Nach dem Auftauen reagierte das Vorderende lebhaft auf mechanische Reize, das ödematös gewordene Hinterende dagegen nicht. Nach Ansicht der Verff. sind bei den bis zu  $-20^{\circ}$  abgekühlten Raupen nur die interzellulären Flüssigkeiten gefroren. Der Zellinhalt bleibt dagegen im Zustand einer unterkühlten Lösung und erstarrt erst bei weiterem Sinken der Temperatur, was dann zum Tode der Raupe führt.

E. Bresslau, Frankfurt a. M.

**Die chemische Sensitivität der Fußglieder des Admiralfalters, *Pyrameis atalanta* L.** (Dwight E. Minnich, Journ. of exp. zool. Bd. 35, Nr. 1, S. 57—81, 1922.) Der Verf. hat schon früher festgestellt, daß die Tarsen, d. h. die Fußglieder der 4 Gehfüße des Admirals (*Pyrameis atalanta* L.), und danach wohl auch der verwandten Schmetterlinge, Geschmacksorgane enthalten. Auf Benetzung der Tarsen mit Lösungen antwortet der Schmetterling mit einer spezifischen Reaktion, nämlich Ausstrecken des gewöhnlich zusammengerollten Saugrüssels. Mit Hilfe dieses Indikators bestimmt nun Verf. in der vorliegenden Arbeit quantitativ das Verhalten gegenüber verschiedenen Substanzen, um festzustellen, ob ein Unterscheidungsvermögen gegenüber diesen Substanzen angenommen werden kann. Geprüft wurden: destilliertes Wasser, Zucker, Kochsalz, Chinin.

Die Versuche wurden mit 2 Methoden durchgeführt. a) Der Schmetterling wurde mittels einer

Wäscheklammer an den Flügeln festgehalten und die Klammer so an einem Stativ fixiert, daß das Tier mit seinen 4 Füßen auf ein Drahtnetz zu stehen kam. Die betr. Flüssigkeit wurde mittels eines kleinen Wattebauschs auf einen Fuß aufgetragen. Kontrollversuche mit trockenem Wattebausch gaben keine Reaktion. Dann wurde destilliertes Wasser aufgetragen, das 100 % Reaktionen ergab. Wurde dann der Schmetterling auf nasses Filtrierpapier gesetzt, so streckte er den Rüssel aus und sog begierig Wasser ein. Wurde jetzt der Versuch mit destilliertem Wasser wiederholt (natürlich stets nach entsprechenden Pausen), so erfolgte keine Reaktion mehr. Dagegen reagierte der Schmetterling in 100 % der Fälle auf Zuckerlösung, woraus geschlossen werden muß, daß er imstande ist, mittels der in seinen Tarsalgliedern vorhandenen Chemorezeptoren Zuckerlösung von destilliertem Wasser zu unterscheiden. b) Der Schmetterling wurde einer während vieler Tage dauernden Kontrolle unterworfen bezüglich seiner Reaktion gegenüber destilliertem Wasser, Zuckerlösung, Kochsalzlösung, Chininlösung. Während dieser Tage wurden in seinem Ernährungszustand starke Schwankungen erzeugt, indem er jeweils bis an die Grenze der Entkräftung dursten und hungern mußte.

Die an 6 Exemplaren bis zu 26 Tagen durchgeführten Versuchsreihen ergaben übereinstimmend folgendes: Die Reaktion auf Wasser war in klarster Weise abhängig vom Ernährungszustand, stieg bei unterbrochener Wasserezufuhr bis 100 %, fiel nach Tränkung bzw. Fütterung (mit Zuckerlösung) auf 0 %. Die Reaktion auf Zuckerlösung war ganz konstant, stets 100 %. Die Reaktionen auf NaCl und Chinin waren sehr variabel, ihre Kurven sind aber ganz unabhängig voneinander, und auch zum Ernährungszustand fehlt jede Beziehung. Wir sehen also gegenüber den 4 Substanzen ein charakteristisch verschiedenes Verhalten, woraus zu schließen ist, daß sie als Reize unterschieden werden.

Rüffert, Berlin-Dahlem.

**Das Nomogramm als Mittel zur Berechnung der Oberfläche des lebenden menschlichen Körpers.** (W. M. Feldman, Lancet Bd. 202, Nr. 6, S. 273—274, 1922.) Zur Berechnung der Körperoberfläche aus Höhe und Gewicht des Körpers nach ihrer Formel haben D. und E. F. du Bois eine besondere Tafel mitgeteilt. Einfacher ist die Berechnung unter Benutzung des von Ingenieuren benutzten nomographischen Verfahrens, das darauf beruht, daß drei mit Zahlenangaben versehene Linien, die drei Variable darstellen, durch eine Gerade derart geschnitten werden, daß die an den Schnittpunkten abgelesenen Zahlen eine bestimmte Beziehung zwischen den drei Variablen ergeben. Verff. berechnen für drei Parallelen (Höhe, Gewicht, Oberfläche) die Lage der Zahlenangaben auf ihnen derart, daß eine sie verbindende Gerade die bestehenden Beziehungen zwischen dem gefundenen Gewicht, der Körperlänge und der Oberfläche ablesen läßt. Das konstruierte Nomogramm ist abgebildet.

A. Loewy, Berlin.

**Die Vitalität der amerikanischen Völker.** (Raymond Pearl, Americ. journ. of hyg. Bd. 1, Nr. 5/6, S. 592 bis 674, 1921.) Die Bevölkerungsstatistik der Vereinigten Staaten leidet vor allem darunter, daß die Registration nur 60 % der Bevölkerung umfaßt. Gerade der interessante Süden ist statistisch unbekannt. Eine zweiköpfige Tabelle teilt die Geburten nach dem Heimatstaat des Vaters und der Mutter ein. Die meisten

fruchtbaren Ehen werden zwischen Leuten derselben Herkunft abgeschlossen. Nächsthäufig sind die Ehen mit Amerikanern. Kritisch stimmt in dieser Tabelle, daß unter 12 Ländern vier verschiedene Arten von Polen vorkommen. Setzt man die beiderseits amerikanischen Ehen gleich Hundert, so betragen für 1919 die gemischten Ehen (Ausländer und Amerikaner) 15, die Ausländerehen 38. Dabei sind nur diejenigen Ehen mitgerechnet, aus denen in dem betreffenden Jahr ein Kind hervorging. Als Amerikaner gilt jeder in Amerika Geborene. Die Mischung zwischen Eingewanderten und Einheimischen und die rein ausländischen Ehen sind um so häufiger, je größer der Prozentsatz der Eingewanderten. 65 % aller Kinder stammten 1919 von in Amerika geborenen Eltern. Bei 10 % war nur ein Elter einheimisch. Die ausländischen Frauen sind fruchtbarer als die einheimischen. So ist die Geburtenziffer für den Staat New-York 1916, wenn die Mutter Einheimische, 17,2, wenn Ausländische 44, für Italiener, Russen und Österreicher bewegt sie sich sogar um 90 % herum. Die unehelichen Geburten betragen nach *Pearls* Angaben für 1919 nur 1,2 % aller Geburten; die Zahl der unehelichen auf 1000 Geburten ist bei der einheimischen Bevölkerung etwa dreimal so groß wie bei den Eingewanderten. Die Angaben über die Totgeburten sind wegen der lokalen Verschiedenheiten in der Definition nicht besonders vertrauenswürdig. Auf 100 lebende Geburten treffen 1918 3,7 Totgeburten. Es folgen Tabellen über den Altersaufbau der Lebenden und der Gestorbenen für 1910 für Männer und Frauen amerikanischer, gemischter und ausländischer Herkunft und daraus berechnete spezielle Sterblichkeitsziffern. Alle drei Kurven weisen für die Jugend nur geringe Unterschiede auf. Für die Erwachsenen besitzen die Einheimischen deutlich geringere Sterbeziffern als die beiden anderen Gruppen. Die Ausländer und Halbamerikaner weisen nur geringe Unterschiede auf. Beim weiblichen Geschlecht sind der Verlauf und die Unterschiede der Kurven dieselben wie beim männlichen. Die Säuglingsterblichkeit ist für die Farbigen doppelt so groß wie für die Weißen. Das Verhältnis der Geburten zur Sterbeziffer schwankt für die einheimischen Städter um 1, d. h. es findet keine natürliche Vermehrung der Bevölkerung statt. Für das ganze Land beträgt es in den Jahren 1915—1918 etwa 1,2. Sehr auffällig ist, daß es bei der schwarzen Bevölkerung stets unter 1 ist, woraus folgen würde, daß die schwarze Bevölkerung sich in den Registriestaaten nicht von selbst reproduziert.

Gumbel, Berlin.

**Das Alkoholverbot der Vereinigten Staaten von Nordamerika.** (*Gaupp*, Münch. med. Wochenschr. Jg. 69, Nr. 5, S. 164—168, 1922.) Nicht genügend beachtet wurde nach der Ansicht des Verf. das Alkoholverbot Nordamerikas vom 16. Januar 1920, welches für das Rechtsgebiet der Vereinigten Staaten die Herstellung, den Verkauf oder Transport sowie die Einfuhr und Ausfuhr von alkoholischen Getränken mit einem Gehalt von über  $\frac{1}{2}$  % Alkohol verbietet, und welches auch für die übrige Welt von größter Bedeutung zu werden verspricht. Verf. entwickelt in dem ersten Teile seiner Arbeit den Werdegang des Gesetzes in den einzelnen Provinzen der Vereinigten Staaten und das Aufblühen der Alkoholindustrie im 19. Jahrhundert. Als Amerika um die Mitte des 19. Jahrhunderts in bezug auf Alkoholverbrauch an der Spitze aller Staaten stand, gingen Vereinigungen aller Art dazu über, den Kampf dagegen energisch aufzunehmen. Die

Alkoholgegner setzten den Hebel an der richtigen Stelle an, nämlich der Erziehung der Jugend zu alkoholfreiem Leben, und wurden nicht müde, im Verein mit Kirche und Schule aufklärend auf die Volksschädlichkeit des Alkoholgenußes zu wirken. Als Erfolg waren die Alkoholverbote von einzelnen Staaten zu verzeichnen. Zu Hilfe kam diesen Bestrebungen der Weltkrieg. Da das Alkoholkapital größtenteils in den Händen deutscher oder deutsch-amerikanischer Brauer und Brenner war, die ihren Einfluß in deutschfreundlichem Sinne geltend machten, wuchs der Haß gegen alles Deutsche und untergrub so die in deutschen Händen befindlichen Betriebe. Die Begeisterung für alles Neue war außerdem ein wesentlicher Faktor, das Alkoholverbot in seiner jetzigen Form durchzuführen. — Die Folgen auf wirtschaftlichem Gebiet durch die zwangsweise plötzliche Schließung aller Alkoholbetriebe sind nicht so schlimm gewesen, wie man in Deutschland allgemein zu glauben geneigt ist. Die Umstellung der Brauereien, Brennerien und Schankstätten in Nahrungsmittelbetriebe vollzog sich, wie an der Hand statistischen Materials dargelegt wird, leicht und vollkommen. — Auf sozialhygienischem Gebiet lauten die Mitteilungen dahin, daß im Gefolge des Verbotes der Wohlstand des Volkes zunahm, die Arbeitsleistungen wuchsen, Arbeitsversäumnisse und Betriebsunfälle seltener wurden. Ebenso sei die Prostitution zurückgegangen, Vergehen und Verbrechen in der Trunkenheit auf ein Minimum reduziert. Daß die alkoholischen Krankheiten infolge der Alkoholverbote stark zurückgingen, lag auf der Hand. Ebenso ist statistisch eine Verminderung der Geschlechtskrankheiten, der Unglücksfälle mit tödlichem Ausgang und der Selbstmorde zu verzeichnen. — An diese statistischen Ausführungen schließt der Verf. eine Betrachtung der Verhältnisse bei uns und bedauert, daß in Deutschland die Alkoholmorbidity wieder in starkem Ansteigen begriffen ist, daß sogar unsere Reichsregierung fähig ist, ihren Beamten auf amtlichem Wege den Kauf von Branntwein aus den Beständen des Reiches zu empfehlen. Er warnt vor dem bei uns betretenen Weg, der unbedingt das Schicksal unseres Vaterlandes: „Verkommen in der Knechtschaft anderer Völker und in der Narkose des Alkoholismus“ besiegeln muß. In dieser Beziehung könnte Deutschland, in der Nachahmung des vorzüglichen Vorgehens Amerikas, den Weg beschreiten, der allein zum Ziel im Kampfe gegen den Alkohol führt: die Erziehung der Jugend zur Selbstverständlichkeit eines Lebens ohne Alkohol.

Lehmann, Jena.

## Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

**Der 30-m-Basisentfernungsmesser von Barr und Stroud.** (*Transactions of the Optical Society* 23, 1921—22, Nr. 3, S. 175—187. *James Weir French*, The Barr and Stroud 100 Ft. self-contained base rangefinder.)

In der Einleitung werden drei Entfernungsmessersysteme in bezug auf ihre Anwendungsmöglichkeit kurz besprochen: der Küstenentfernungsmesser (Depressionsentfernungsmesser) mit senkrechter Basis, der übliche Basisentfernungsmesser (mit horizontaler Basis im Instrument) und der für zwei Beobachter an getrennten Stationen bestimmte Küstenentfernungsmesser mit horizontaler (sehr großer) Basis. Es



wird dabei mit Recht darauf hingewiesen, daß ein 100-Fuß- (30,5 m) Basisentfernungsmesser erfolgreich in Wettbewerb treten kann mit einem (Zweistationen-) Langbasisentfernungsmesser von einer Meile Basis, weil die Beobachtungsgenauigkeit beim Basisentfernungsmesser infolge der Vereinigung in einem Bildfeld wesentlich größer ist als bei zwei getrennten Stationen. Außerdem ist im letzteren Falle nicht immer die Verständigung möglich bezüglich des gewählten Zielpunktes; und es können beim Zweistationenentfernungsmesser eher Störungen durch atmosphärische Einflüsse vorkommen, weil beim Abstand der beiden Strahlenbündel an den Basisenden von der Größe einer Meile Unterschiede viel eher möglich sind als bei 30,5 m Basis. Außerdem ist ein Zweistationenentfernungsmesser teurer einmal wegen der Verdoppelung der Anlage und dann wegen der Notwendigkeit der elektrischen Verbindung zwischen den beiden Stationen.

In der vorliegenden Arbeit wird nun von *French* ein von der Firma Barr & Stroud, Glasgow, gebauter Basisentfernungsmesser mit 100 Fuß Basis beschrieben. Von den 11 Abbildungen geben wir zwei wieder.



Fig. 1. Äußere Ansicht des Entfernungsmessers.  
(Nach Fig. 1 S. 177 von Nr. 3 der Transactions of the Optical Society.)

Die Fig. 1 zeigt den äußeren Aufbau dieses Entfernungsmessers, der auf einem Gleise von 50 Fuß Durchmesser nach allen Richtungen in der Horizontalen drehbar ist. Ein außerhalb des Beobachtungshauses stehender Beobachter, der einen 80 cm-Entfernungsmesser benutzt, gibt auf dem Bilde eine Anschauung von den Größenverhältnissen. Bemerkt sei noch, daß die größte Basislänge der bisher benutzten Entfernungsmesser mit Basis im Instrument 10 m war. Wie man schon aus der Fig. 1 bei genauerem Zusehen erkennt, ist dieser 100-Fuß-Entfernungsmesser ein Instrument von außerordentlich verwickeltem mechanischem Aufbau. Man erkennt zunächst als Grundlage des Gerüsts ein Quadrat mit seinen Diagonalen, die selber wieder ein Gitterwerk bilden. Die Mitte dieses Gerüsts trägt nur das Gewicht des Beobachtungshauses und der drei Beobachter nebst einem Teil des Gewichtes der radialen (diagonalen) Glieder, während das Hauptgewicht des Entfernungsmessers durch Vermittlung von zwei Kandelabern (und der beiden Rollen an den beiden anderen Quadratecken) von dem kreisförmigen Gleise aufgenommen wird. Unter jedem der beiden Kandelaber befindet sich ein Rollwagen mit zwei Rädern, die auf dem Gleise rollen. Der Antrieb erfolgt auf das größere der beiden Räder, das etwa  $\frac{3}{4}$  der auf dem Kandelaber ruhenden Last aufnimmt. Der Antrieb für das Nehmen der Horizontalrichtung erfolgt durch einen Elektromotor in Verbindung mit einem Getriebe

(Williams Janny variable speed oil transmission gear), das verschiedene Geschwindigkeiten und Umkehr der Bewegungsrichtung einzustellen gestattet. Die maximale Geschwindigkeit ist  $180^\circ$  pro Minute, die minimale noch sicher festgestellte Geschwindigkeit  $\frac{1}{2}$  Winkelminute pro Zeitminute, also  $\frac{1}{21600}$  der maximalen Geschwindigkeit. Durch zwei Handräder kann unabhängig von dem Elektromotorantrieb und während dessen Wirksamkeit eine Maximalgeschwindigkeit von  $20^\circ$  pro Minute gleichgerichtet oder entgegengesetztgerichtet zur elektromotorisch erzielten Geschwindigkeit erreicht werden. Außerdem kann dieser Handantrieb als Notbehelf dienen beim Versagen der elektrischen Stromquelle.

Das Außenrohr des Entfernungsmessers hat 14 Zoll (etwa 35 cm) Durchmesser und besteht aus fünf durch geeignete Kuppelungen miteinander zu verbindenden Teilen. Es ist in acht Lagerstellen in Kugellagern gelagert, wobei dafür gesorgt ist, daß Beobachtungen von  $10^\circ$  Geländewinkel nach abwärts bis  $70^\circ$  Geländewinkel nach oben möglich sind. Diese Einstellung auf Geländewinkel (Elevation) ist ohne großen Kraftaufwand möglich entweder durch Antrieb mittels

eines Handrades oder durch Umfassen eines Wellenstumpfes mit 25 mm Durchmesser. Die acht Lager des Entfernungsmessers sind befestigt an einem Gitterwerk und dieses wieder an den beiden schon genannten Kandelabern. Durch geeignete Verteilung der bei der Elevationseinstellung auf den Entfernungsmesser wirkenden Kräfte wurde erreicht, daß sich die beiden Entfernungsmesserrhälften nicht gegeneinander verdrehen. Infolgedessen konnte darauf verzichtet werden, den beiden zugehörigen Antriebswellen verschiedene dem Unterschied der beiden Umdrehungen entsprechende Drehungen zu erteilen.

Lassen also die vorstehend gegebenen Andeutungen des mechanischen Aufbaus erkennen, daß dieser recht große konstruktive Mittel erforderte, so waren bei dem optischen Aufbau des Entfernungsmessers weniger Schwierigkeiten zu überwinden.

Wie es schon bisher bei allen bekannten größeren Basisentfernungsmessern üblich war, sind statt der Endprismen an den Basisenden Winkelspiegel mit zwei Reflexionen angeordnet. Auch die einschaltbaren Vorrichtungen zur Erzeugung von Astigmatismus, also zur Verwandlung des Bildpunktes in eine Bildlinie senkrecht zur Basis beim Anmessen von Lichtpunkten sind die bisher üblichen. Besonderheiten bei diesem großen Entfernungsmesser sind das Okularprisma (siehe Fig. 2) und die Anordnung des Drehkeilpaars an einer sonst nicht üblichen Stelle.

Infolge der großen Basis hätte man die Winkelspiegel an den Basisenden sehr groß annehmen müssen, um die mit der Verwendung eines nicht übermäßig langen astronomischen Fernrohrs (mit Umkehrprismen) und dem großen Abstand zwischen Basisende und Fernrohrobjektiv verbundene Gesichtsfeldverkleinerung zu vermeiden. Oder aber man hätte wie bei den Sehrohren in jeder Entfernungsmesserröhre statt eines Fernrohrs zwei oder gar drei Fernrohre hintereinander schalten müssen. Barr & Stroud haben deshalb aus der Not eine Tugend gemacht und dem Entfernungsmesser nur das kleine Gesichtsfeld gegeben, das aus dem sonst bei großen Basisentfernungsmessern vorkommenden Winkelspiegeldurchmesser und der Basislänge folgt. Das Gesichtsfeld beträgt also nur 17' (Winkelminuten) bei 28facher Vergrößerung. Um aber die Schwierigkeiten, die sich beim Arbeiten mit einem solch kleinen Gesichtsfeld ergeben, zu umgehen, ist als Sucherfernrohr (siehe hierzu die Bemerkungen am Schlusse des Berichts) ein drittes Fernrohr mit der gleichen Vergrößerung wie die Entfernungsmessergesichtsfelder hinzugefügt worden derart, daß das Gesichtsfeld dieses Sucherfernrohrs (sein Ob-

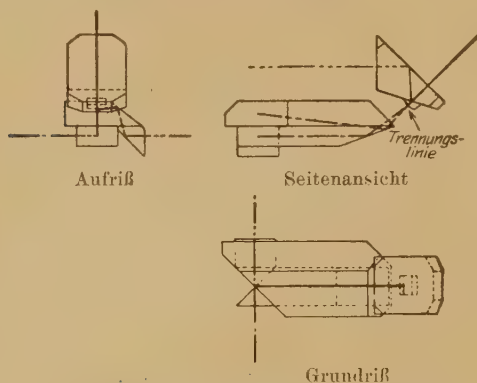


Fig. 2. Das Okularprisma (die beiden oberen Bilder Aufriß und Seitenansicht, das untere Bild Grundriß) zur Vereinigung der drei Gesichtsfelder in einem Okularbildfeld. (Nach einem Teil der Fig. 11, S. 186 von Nr. 3 der Transactions of the Optical Society.)

ektiv liegt etwa in der Mitte der Entfernungsmesserbasis) die beiden kleinen Gesichtsfelder, die nur 17' Seitenausdehnung haben, umgibt<sup>1)</sup>; es beträgt 1° 30' und bietet ebenfalls 28fache Vergrößerung. Außer der 28fachen Vergrößerung sind für diese drei Gesichtsfelder gemeinsam Vergrößerungen 20fach und 16fach einschaltbar. Die Messung erfolgt im übrigen nach den gleichen Grundsätzen wie bei den bekannten

<sup>1)</sup> Der Vollständigkeit halber füge ich den ersten Patentanspruch des am 30. 10. 1916 angemeldeten englischen Patentes 135 223 von Barr & Stroud bei, er lautet: „In self-contained base rangefinders having comparatively long bases working on the coincidence principle, the provision of a triple telescopic system for the viewing eye, the right and left hand rangefinding telescopes being arranged to form small fields of view with the usual separating line between them, while the extra telescope furnishes a large field of view surrounding or adjacent to the former pair of fields.“

<sup>2)</sup> Ein Drehkeilpaar enthält zwei Prismen, die um die optische Achse um gleiche, aber entgegengesetzt gerichtete Winkel verdreht werden können, so daß im Hauptschnitt des Entfernungsmessers Ablenkungen der Ziellinie hervorgebracht werden können zwischen Null und einem Höchstbetrag. Eine eingehende Theorie des Rochon-Herschelschen Drehkeilpaares hat H. Erfle in Zeitschr. f. Physik 1920 1, 57—81, 270, gegeben.

Koinzidenzentfernungsmessern (Schnittbildentfernungsmessern); und zwar wird von den beiden am meisten angewandten Mitteln — entweder längs der optischen Achse verschiebbares Prisma zwischen dem Objektiv und dem Okularprisma oder ein Drehkeilpaar<sup>2)</sup> zwischen einem Winkelspiegel und einem Objektiv — hier das Drehkeilpaar (jedes seiner Prismen ist aus zweien zusammengesetzt) dazu benützt, um in der einen Entfernungsmesserröhre die Ziellinie so abzulenken, daß die von den beiden Entfernungsmesserröhren herrührenden Bilder an der Trennungslinie sich ineinander fortsetzen. Dabei wird das Drehkeilpaar im Gegensatz zu den bisher bekannten Anordnungen nicht mehr am Objektiv (d. h. in Verbindung mit dem eigentlichen Innenrohr des Entfernungsmessers), sondern nahe am Winkelspiegel angebracht, damit die Größe des Winkelspiegels auch beim Vorkommen von größeren Zielparallaxenunterschieden ausreicht. Es muß dann allerdings sorgfältig auf Ausschaltung des toten Ganges zwischen Entfernungsmesserskala und Drehkeildrehung geachtet werden. Günstig in diesem Sinne wirkt es, daß der Welle, welche die Verbindung zwischen den beiden Teilen herstellt, eine große Anzahl von Umdrehungen zwischen ihren beiden Grenzlagen gegeben wurde. Die Fig. 2 gibt Aufriß, Grundriß und Seitenriß des Okularprismas, das für einen zum Entfernungsmesserschnitt geeigneten Einblick bestimmt ist. Entsprechend der Kleinheit des Entfernungsmessergesichtsfeldes in bezug auf das Suchergesichtsfeld nimmt das zu den beiden Entfernungsmessergesichtsfeldern gehörende Biprisma, das an der (unteren) Reflexionsfläche des oberen Okularprismenteils befestigt ist, nur einen kleinen Raum ein. Zum oberen Okularprismenteil (das ist also ein zweifach spiegelndes Prisma mit senkrechtem Hauptschnitt) gehören noch ein Objektiv und ein Porrosches Umkehrprisma.

Von Interesse ist noch, daß drei Personen zur Bedienung des Entfernungsmessers notwendig sind, die in dem Beobachtungshäuschen, das auf Fig. 1 ersichtlich ist, Platz finden. Der eine stellt den Entfernungsmesser auf den richtigen Geländewinkel ein und sorgt dauernd für Koinzidenz der beiden Bilder des verfolgten Ziels, der zweite bedient die Folgezeigereinrichtung und damit die automatische Weitergabe der gemessenen Entfernungen an die Feuerleitungsstelle, der dritte bedient den Antrieb für das Nehmen der Horizontalrichtung und benutzt ein besonderes Fernrohr. Solange wie der Elektromotor läuft, wird dadurch trockene Luft durch den Entfernungsmesser geleitet.

Der Entfernungsmesser wurde achtzehn Monate lang erprobt. Es wird das Ergebnis einer amtlichen Prüfung mitgeteilt für Entfernungen zwischen etwa 5500 und 31 000 m. Die Differenzen zwischen der wahren Entfernung und dem Mittelwert aus drei Entfernungsmessungen entsprechen einem Fehler des parallaktischen Winkels von höchstens 0,27 Winkelsekunden, während 0,68 Sekunden zugelassen waren. Bei 31 000 m Entfernung war der Entfernungsfehler 17 m.

0,27 Winkelsekunden parallaktischem Fehler entspricht (infolge der Vergr. 28×) einem Einstellungsfehler des Auges von  $0,23 \times 28 = 7,6$  Sekunden.

Zum Vergleich seien noch einige aus der bekannten Formel:

$$\Delta E = \frac{f \cdot E^2}{v \cdot b \cdot 206\,000}$$

berechnete Entfernungsmeßfehler mitgeteilt für  $f = 10''$ ,  $v = 28$  und  $b = 0,8$  m, 10 m, 30,5 m bei den Entfernungen 5000 m, 10 000 m, 15 000 m, 20 000 m, 30 000 m:



$\Delta E$  in m:

| $E$ \ $b =$   | 0,8 m | 10 m | 30,5 m |
|---------------|-------|------|--------|
| 5 000 m.....  | 53    | 4,3  | 1,4    |
| 10 000 „..... | 220   | 17   | 5,7    |
| 15 000 „..... | 500   | 40   | 13     |
| 20 000 „..... | 880   | 70   | 23     |
| 30 000 „..... | 1940  | 156  | 51     |

Der oben mitgeteilte Entfernungsmeßfehler 17 m bei 31 000 m entspricht einem Parallaxenfehler von nur 0,112 Sek., also einem Einstellungsfehler des Auges von 3,1 Sek., was schon nicht mehr als Normalfall bezeichnet werden kann. Nimmt man statt dessen 10 Sekunden an, wie ich es in der vorhin mitgeteilten Tabelle getan habe, dann kommt man bei 30,5 m Basis zu einem Entfernungsmeßfehler von 51 m für 30 km Entfernung, hat also gegenüber 10 m Basis die Genauigkeit etwa verdreifacht. Und diese Vergrößerung der Basis ist, wie die vorher mitgeteilte Formel für  $\Delta E$  zeigt, das einzige praktisch mögliche Mittel zur Verkleinerung von  $\Delta E$ , da eine Steigerung der Vergrößerung  $v$  über  $28 \times$  hinaus nur in seltenen Fällen Nutzen bringt.

Für valutaschwache Leser wäre es — wenigstens theoretisch — interessant gewesen, den Preis eines solchen Entfernungsmessergeheuers zu erfahren. Aber hierüber gibt die Veröffentlichung von French keine Auskunft, auch nicht darüber, ob — im Zeitalter der Abrüstung — mehr als ein solcher Entfernungsmesser gebaut worden ist.

Zum optischen Teil seien noch einige Hinweise gestattet auf Konstruktionen von deutschen Firmen, in denen sich in gewisser Beziehung Vorgängerschaften finden zu dem Vorschlag von Barr & Stroud, drei Fernrohre gleicher Vergrößerung in einem Bildfeld zusammenlaufen zu lassen, wobei das größte Gesichtsfeld nicht zu Entfernungsmessungen verwendet wird. Als Vorbemerkung ist da zunächst der von Carl Zeiß eingeführte fensterartige Ausschnitt bei Invertentfernungsmessern (Kehrbildentfernungsmessern) zu nennen, in dem also nur ein kleiner Bruchteil des Hauptgesichtsfeldes zur Entfernungsmessung, also zum Beobachten des Invertbildes, verwendet wird. Barr & Stroud führen in das „große“ Gesichtsfeld ihres Mittelfernrohrs gewissermaßen zwei solcher Fenster (jedes gehört zu einem Basisende) ein, aber beide mit aufrechtem Bild. In der Deutschen Patentschrift 272 045 vom 19. 10. 1911 von Carl Zeiß handelt es sich um einen Koinzidenzentfernungsmesser, in dessen Gesamtbildfeld senkrecht zur Standlinienrichtung drei Einzelbilder aufeinander folgen<sup>3)</sup>; im Anspruch 2 dieses Patenten heißt es, „daß das nicht an die Koinzidenzlinie grenzende äußere Bild von schwächerer Vergrößerung ist, so daß gleichzeitig mit den beiden zur Messung dienenden Bildern noch

ein Sucherbild zur Verfügung steht. Aber es sind bei diesem Zeißpatente alle drei Bilder den Basisenden entnommen. In dieser Beziehung ist das DRP. 240 888 der Firma Hahn, Cassel, vom 24. 7. 1910 dem Vorschlag von Barr & Stroud wieder ähnlicher, da es die zeitweilige Einschaltung<sup>4)</sup> des Suchers, dessen Objektiv sich etwa in der Basismitte befindet, gestattet. Aber es ist dann wieder — im Gegensatz zu den Vorschlägen von Zeiß und von Barr & Stroud — nicht möglich, ohne Umschaltung gleichzeitig den Sucher und die beiden zur Entfernungsmessung dienenden Bilder zu benutzen. Wählt man beim Hahnschen Ausführungsbeispiel die Okularprismen gerade nur so groß, wie es bei der sehr langen Basis und dem kleinen Gesichtsfeld des Barr & Stroud-Entfernungsmessers erforderlich ist, und vergrößert man das einschaltbare Pentaprisma in der Höhe, dann kommt man schließlich<sup>5)</sup> zu einer Ausführungsform eines in optischer Beziehung dem Barr- & Stroud-Entfernungsmesser ähnlichen Entfernungsmessers. Man muß nur noch — entgegen dem allgemeinen Brauch, was aber hier vorteilhaft ist — dem Sucher die gleiche Vergrößerung geben wie den beiden Entfernungsmessergesichtsfeldern.

Fasse ich also meine geschichtlichen Hinweise zusammen, so folgt, daß die Ausführungsform dieses großen Barr & Stroud-Entfernungsmessers einen bei den gegebenen Verhältnissen recht zweckmäßigen Einbau eines Suchers in einen Entfernungsmesser enthält, wobei man gerade durch den Verzicht auf alte Gewohnheiten Vorteile in der Benutzung eines solch großen Entfernungsmessers erzielte.

H. Erfle.

#### Bildung und Lebensdauer des metastabilen Heliums.

(F. M. Kannenstine, Astrophysical Journal 55, 345, 1922.) Nach wie vor steht die Frage nach dem Bau des Heliumatoms in der modernen Atomforschung im Vordergrund des Interesses. Während die rechnerische Behandlung der Elektronenbahnen im Bohrschen Wasserstoffatom, bei dem ein Elektron sich um einen einfach positiv geladenen Kern auf Quantenbahnen bewegt, sogar mit den elementarsten Hilfsmitteln gelingt, wenn wir von Fragen der Feinstruktur absehen, häufen sich beim Heliumatom, bei dem zwei Elektronen sich um einen doppelt geladenen Kern bewegen, die rechnerischen Schwierigkeiten derart, daß es Bohr und seinem Mitarbeiter Kramers auch in ihren letzten bedeutsamen Arbeiten trotz erheblicher Fortschritte noch nicht restlos gelungen ist, die Energie der Elektronen des Heliumatoms im Normalzustande kleinster Energie zu berechnen. Die Grundlage für alle diese Rechnungen und theoretischen Überlegungen bieten die experimentellen Tatsachen, vor allem das Spektrum des Heliums, dessen im sichtbaren Wellenlängengebiet liegender Teil von Runge und Paschen analysiert worden ist und bekanntlich aus zwei völlig getrennten Seriensystemen, dem Spektrum des Orthoheliums (Doppellinien) und dem des Parheliums (Einfachlinien) besteht. Dem entsprechen modellmäßig zwei verschiedene Typen von Bahnen der beiden Heliumelektronen, die generell dadurch charakterisiert werden können, daß im Orthohelium die beiden Bahnen komplanar, im Parhelium gekreuzt oder zum mindesten geneigt gegeneinander verlaufen. Die beiden Gruppen von Bahnen gehören ganz verschiedenen Typen an und können in keiner Weise stetig ineinander überführt werden, was mit dem spektralen Befunde im Einklang ist, daß im

<sup>3)</sup> Auf die Wiedergabe des ausführlichen Titels verzichte ich.

<sup>4)</sup> Der Patentanspruch dieses DRP. 240 888 lautet: „Sucher für monokulare Basis-Entfernungsmesser, bei denen ein optisches System, das mit dem Okular des Entfernungsmessers ein wesentlich kleineres Bild mit entsprechend vergrößertem Gesichtsfeld ergibt, derart in dem Entfernungsmesser angebracht ist, daß es zeitweise in den Strahlengang eingeschaltet werden kann, dadurch gekennzeichnet, daß das eingeschaltete Suchersystem das von dem einen Objektiv entworfene Bild abdeckt.“

<sup>5)</sup> Indem man einen schmalen Streifen des Pentaprismas zu einer Planparallelplatte ergänzt.

Spektrum keine Kombinationen zwischen Termen des Ortho- und Parheliums vorkommen.

Es entsteht nun die wichtige Frage, *welchem Bahntypus der Normalzustand des Heliumatoms zuzuordnen ist*. Diese Frage ist experimentell beantwortet worden durch die Erweiterung des Spektrums ins extrem Ultraviolette nach der Methode des Elektronenstoßes. Aus den Messungen von *Franck* und *Knipping* und den Überlegungen von *Franck* und *Reiche* geht hervor, daß der Normalzustand des Heliums zum *Parheliumtypus* gehört. Dies Resultat zieht eine interessante Konsequenz nach sich: Für den Orthoheliumzustand kleinster Energie, der aber um 473 Kilocal. pro Mol (entsprechend 20,5 Volt Elektronenenergie) größer ist, als die Energie im Normalzustand, besteht ohne Einwirkung äußerer, d. h. von anderen Atomen herrührender Kräfte, keine Möglichkeit, spontan seine überschüssige Energie unter Lichtemission abzugeben. Dieser Zustand ist nach *Franck* metastabil und bleibt, wie schon *Franck* und *Knipping* zeigen konnten, in ganz reinem Helium auch nach Aufhören der elektrischen Erregung noch bestehen.

Es ist nun von außerordentlichem Interesse, nicht nur vom Standpunkte des Experimentators, sondern auch von dem des Theoretikers — in der Bohrschen Theorie des Heliumatoms spielt die Tatsache dieses metastabilen Zustandes eine fundamentale Rolle —, die Ergebnisse des Elektronenstoßverfahrens durch neue Untersuchungen zu sichern und wenn möglich Anhaltspunkte über die Lebensdauer des energiereichen Heliumatoms in diesem metastabilen Zustand zu gewinnen. In dieser Richtung bedeutet die oben genannte Arbeit von *Kannenstine* einen wichtigen Fortschritt. *Kannenstine* geht dabei von folgender Überlegung aus: Die Ionisierungsarbeit des normalen Heliumatoms, d. h. die Arbeit, um von diesem ein Elektron völlig abzutrennen, beträgt 25,3 Volt, dagegen muß die Ionisierungsarbeit des metastabilen Heliums, dem wir ja schon 473 Kilocal./Mol entsprechend 20,5 Volt zugeführt haben, dementsprechend kleiner, und zwar gleich 4,8 Volt sein. Will ich in einem (nicht elektronegativen) Gase unter Benutzung einer Glühkathode eine Entladung aufrecht erhalten, so muß ich eine Spannung anlegen, die mindestens gleich der Ionisierungsspannung ist, wenn wir mit so geringen Elektronendichten arbeiten, daß Vielfachstöße praktisch nicht vorkommen. In Helium wäre demnach eine Entladung erst von 25,3 Volt an möglich, könnte man dagegen metastabiles Helium in merklicher Menge erzeugen, so müßte sich eine Entladung noch bei 4,8 Volt aufrecht erhalten lassen. Diese Überlegung läßt sich nun verhältnismäßig leicht mit folgender Anordnung experimentell prüfen. *Kannenstine* erzeugt in einem Vakuumrohr mit Glühkathode, in dem sich reines Helium mit Druck von etwa 1 mm Hg befindet, durch Anlegen einer Spannung von etwas mehr als 25,3 Volt eine selbständige Entladung. Bei der Entladung werden durch den Stoß der Elektronen auch metastabile Heliumatome gebildet. Die angelegte Spannung kann nun plötzlich abgeschaltet oder auf einen beliebigen Betrag herabgesetzt werden. Die dadurch bewirkte Änderung des Stromes kurz nach der Änderung der Spannung wird mit einer Braunschen Röhre als Oszillographen aufgenommen. Schaltet man die Spannung ganz ab, so ergibt sich ein Verlauf entsprechend Fig. 1, d. h. der Strom sinkt momentan auf den Wert Null. Dieser Verlauf bleibt auch bestehen, solange die Spannung nach der Änderung kleiner als 4,8 Volt bleibt. Sobald aber dieser Wert überschritten wird,

ergibt sich ein Verlauf der Stromkurve entsprechend Fig. 2, aus der man ersieht, daß der Strom auch bei dieser kleinen Spannung noch kurze Zeit bestehen bleibt. Die Deutung dieses Ergebnisses ist nach dem oben gesagten klar: Das durch die Entladung gebildete metastabile Helium wird durch die angelegte Spannung von 4,8 Volt ionisiert und der Strom kann also auch bei dieser Spannung noch so lange bestehen bleiben, bis alles metastabile Helium verschwunden ist.



Fig. 1. Stromabfall beim Abschalten der Spannung.



Fig. 2. Stromabfall bei Änderung der Spannung auf 4,8 Volt.

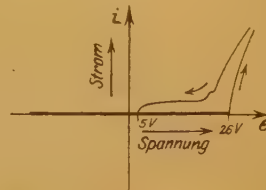


Fig. 3. Stromspannungskurve bei Wechselstrom von 60 Per./sec.

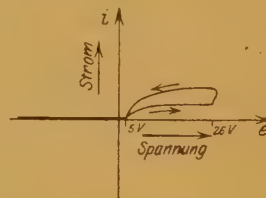


Fig. 4. Stromspannungskurve bei Wechselstrom von 220 Per./sec.

Könnte man schon aus dem Abklingen des Stromes die Lebensdauer des metastabilen Heliums zu ermitteln versuchen, so gelingt das noch besser, wenn man statt Gleichspannung Wechselspannung verwendet und mit einer Braunschen Röhre den Verlauf von Strom und Spannung aufnimmt. Derartige Versuche hat *Kannenstine* bei verschiedenen Frequenzen des Wechselstromes angestellt. Fig. 3 zeigt den Verlauf bei 60 Perioden/sec. Bei zunehmender Spannung setzt die Entladung bei etwa 26 Volt entsprechend der Ionisierungsspannung des normalen Heliums ein, bleibt dann aber bei Rückgang der Spannung noch bestehen, bis die Spannung etwa auf 4,8 Volt entsprechend der Ionisierungsspannung des metastabilen Heliums gesunken ist. Während der folgenden Halbperiode, bei der die Glühkathode positiv ist, erfolgt natürlich keine Zündung. Geht man nun zu höheren Frequenzen über, so ändert sich bei 220 Perioden/sec. das Bild wesentlich und nimmt die Form der Fig. 4 an. Die Entladung setzt nun schon bei 4,8 Volt ein, nimmt einen zweiten Anstieg bei 25,3 Volt und bleibt bei Rückgang bis 4,8 Volt bestehen. Dies beweist also, daß bei dieser Frequenz



das durch die Entladung gebildete metastabile Helium noch so lange bestehen bleibt, daß auch nach Verlauf der Halbperiode, während der der Glühdraht positiv ist, noch soviel metastabiles Helium vorhanden ist, daß es zur Aufrechterhaltung eines Stromes reicht. Die Lebensdauer ist also sicher mindestens gleich der Dauer einer Halbperiode, d. h. gleich  $\frac{1}{400}$  sec.

Diese Untersuchungen von *Kannenstine* bestätigen und erweitern also in der erfreulichsten Weise unsere bisherigen Kenntnisse über das metastabile Helium, und es ist zu hoffen, daß sich nach dieser und ähnlichen Methoden noch weitere interessante Ergebnisse werden erzielen lassen.

W. Grottrian.

## Astronomische Mitteilungen.

**Die Grundlagen der Shapleyschen Entfernungsbestimmungen.** Die Shapleyschen Werte für die Entfernungen der kugelförmigen Sternhaufen bedeuten eine so prinzipielle, die Größenordnung berührende Änderung unserer Anschauung über die Ausdehnung unseres Sternsystems, daß auf die Sicherstellung ihrer Grundlagen nicht Mühe genug verwendet werden kann. Das Sprungbrett für den Übergang von näheren Objekten mit bekannten Entfernungen zu den großen Entfernungen der Sternhaufen bildet die Beziehung, welche Perioden und absolute Helligkeiten der Veränderlichen vom  $\delta$ -Cephei-Typus miteinander verbindet. Diese Beziehung beruht einerseits auf sicheren Beobachtungstatsachen, enthält aber andererseits eine Annahme, mit deren Ablehnung sie gerade für die Kugelhaufen ungültig wird.

Beobachtet ist der Zusammenhang zwischen Periode und scheinbarer Helligkeit bei 25 Veränderlichen mit Perioden zwischen 1 und 127 Tagen in der kleinen Magellanschen Wolke (Leavittkurve). Da sich alle diese Veränderlichen praktisch in derselben Entfernung befinden, unterscheiden sich ihre scheinbaren und absoluten Helligkeiten (Helligkeiten bei Beobachtung aus einer Entfernung von 1 Sternweite) um einen durch die Entfernung bestimmten konstanten Faktor, in Größenklassen ausgedrückt, um eine additive Konstante. Statt der scheinbaren kann also sofort die absolute Größe als Argument in die Leavittkurve eingeführt werden, sobald mindestens für einen Stern die Entfernung bekannt ist. Für Sterne der Magellanschen Wolke trifft das nicht zu; es gibt aber eine Reihe von isolierten  $\delta$ -Cephei-Veränderlichen mit ähnlicher Periodenlänge (2—10 Tage), für die sich die Entfernung abschätzen läßt. Für 11 isolierte Veränderliche ist die Eigenbewegung gut bekannt. Unter der Annahme (die gestützt werden kann), daß die eigene Bewegung dieser Sterne klein ist, die beobachtete Eigenbewegung am Himmel also in der Hauptsache durch die Sonnenbewegung verursacht wird (parallaktische Bewegung), läßt sich, da ja die Größe der parallaktischen Bewegung von der Entfernung abhängt, für jeden der Sterne eine Entfernung ableiten. Man kann auf jeden Fall annehmen, daß das Mittel der in die Richtung der Sonnenbewegung fallenden Komponenten der Eigenbewegungen dieser 11 Sterne eine zuverlässige Entfernung für ihre mittlere scheinbare Helligkeit gibt. Damit ist auch die dazugehörige absolute Helligkeit bekannt und weiterhin mit der mittleren Periode der 11 Veränderlichen ein zusammengehöriges Paar der Größen Periode und absolute Helligkeit. Macht man nun noch die Annahme, daß für die isolierten Veränderlichen wie für die Veränderlichen in der kleinen

Magellanschen Wolke dasselbe Gesetz Periode und absolute Helligkeit verbindet (was nach der Übereinstimmung der Kurve der isolierten Veränderlichen mit dem entsprechenden Stück der Leavittkurve kaum zu bezweifeln ist), so kann für diesen Periodenwert in der Leavittkurve statt der scheinbaren die absolute Helligkeit angesetzt werden. Durch die nun feststehende Beziehung zwischen Periode und absoluter Helligkeit kann umgekehrt für jeden Veränderlichen dieses Typus aus seiner Periode die absolute Helligkeit und durch Verbindung mit der scheinbaren Helligkeit die Entfernung gefunden werden.

Der unmittelbaren Anwendung dieser Beziehung auf die Kugelhaufen steht entgegen, daß die Kurve nur für Periodenlängen von mehr als 1 Tag vorhanden ist, während die Veränderlichen in den Sternhaufen durchaus kürzere Perioden haben (um  $\frac{1}{2}$  Tag), somit ohne weiteres angehängt werden können. Als Brücke benutzte *Shapley* 7 längerperiodische Veränderliche (Perioden 1—30 Tage), die in 2 der Haufen ( $\omega$  Centauri und Messier 5) zusammen mit den kurzperiodischen vorkommen. Für sie ist die absolute Helligkeit bekannt (unter der Voraussetzung, daß sie demselben Gesetz folgen wie die isolierten Veränderlichen), und damit wird für die beiden Haufen die Entfernung bekannt. Mit der Entfernung ergibt sich für alle kurzperiodischen Veränderlichen die absolute Helligkeit und damit das zu den kurzen Perioden gehörige Stück der Leavittkurve. Es stellt sich heraus, daß die kurzperiodischen Veränderlichen nahezu konstante Helligkeit haben und stetig an die längeren Perioden anschließen. Auf dieser ausgebauten Leavittkurve beruhen die Shapleyschen Entfernungsbestimmungen.

Vor kurzem hat *Kapteyn*<sup>1)</sup> diese Grundlagen der Shapleyschen Methode einer Kritik unterworfen. Zweifel werden dadurch verursacht, daß zwischen Shapleys Werten und auf andere Weise gewonnenen unüberbrückbare Widersprüche bestehen. Seine Werte sind 7—8mal so groß wie die, welche *Schouten* aus einer Reihe von Haufen durch die Annahme erhalten hat, daß in ihnen die Leuchtfunktion dieselbe Gestalt hat, d. h. die Sterne der verschiedenen absoluten Helligkeiten in denselben Verhältnissen vertreten sind wie in unserem engeren Sternsystem. *Kapteyns* Bedenken richten sich gegen die freilich sehr schmale Brücke zu den Kugelhaufen, die nur durch sieben Sterne gebildet wird. *Kapteyn* erscheinen die kurzperiodischen Veränderlichen durch ihre charakteristische Periode sowohl wie durch ihre Verteilung am Himmel außerhalb der Haufen als wesentlich verschieden von denen mit längerer Periode. Die bedeutend merklicheren Spezialbewegungen der isolierten Sterne der kurzperiodischen Art deuten zudem darauf hin, daß es sich womöglich nicht um Riesen-, sondern um schwächere Zwergsterne handeln könnte. Bei solchen Verschiedenheiten erscheint *Kapteyn* der enge Anschluß an die Leavittkurve mindestens als eine Merkwürdigkeit, womöglich als ein Irrtum.

Um zu einer unabhängigen Prüfung zu kommen, schlägt *Kapteyn* für die kurzperiodischen Veränderlichen denselben Weg ein, der bei den längerperiodischen in die Leavittkurve die absoluten Helligkeiten einführt. Er leitet für 14 isolierte Sterne von kurzer Periode die Eigenbewegungen ab, trennt die in die Richtung der Sonnenbewegung fallende Komponente ab

<sup>1)</sup> Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands Nr. 8, siehe auch *Kienle*, Die Naturwissenschaften 10, 552, 1922.

und bestimmt unter der Annahme, daß die in diese Richtung fallenden Teile der Spezialbewegungen sich aufheben, die mittlere parallaktische Bewegung dieser 14 Sterne. Daraus ergibt sich wieder die Entfernung und damit die absolute Helligkeit. Da es durchaus berechtigt erscheint, diese kurzperiodischen isolierten und die Haufenveränderlichen als gleichartig anzusehen, so folgt aus den scheinbaren Helligkeiten der Haufenveränderlichen auch hier die Entfernung der Kugelhaufen. *Kapteyn* kommt auf diesem Wege auch zu Entfernungswerten, die 7,6mal so klein sind wie die *Shapleys*. Aus seinen Daten scheint zu folgen, daß dieser Faktor kaum unter 6 liegen kann.

Zweifelloos bietet der von *Kapteyn* eingeschlagene Weg eine ganz naturgemäße Kontrolle. Die bisher verwendbaren 14 Sterne sind aber kein für bündige Schlüsse ausreichendes Material. Die Annahme sehr kleiner Spezialbewegungen kann für diese Sterne nicht gemacht werden. Es bleibt also hier fraglich, ob das Mittel der 14 Sterne die reine parallaktische Bewegung ergibt, während das bei den elf langperiodischen *Shapleyschen* Sternen so gut wie sicher ist und auch durch die *Kapteynschen* Daten bestätigt wird. Der Hauptzweck der *Kapteynschen* Kritik ist infolgedessen auch, anzuregen, für sämtliche isolierte cluster-Veränderliche (bis jetzt 39) zuverlässige Eigenbewegungen zu bestimmen. Mit Hilfe der langbrennweitigen Instrumente ist das in wenigen Jahren zu leisten; damit wird dann die Möglichkeit zu dieser direkten und durchgreifenden Kontrolle gegeben sein.

Nach einer zufällig gleichzeitig erschienenen Notiz *Shapleys*<sup>2)</sup> zu urteilen, hat die Verbindung der kurz- mit den langperiodischen Veränderlichen eine bedeutende Festigung erfahren. Unter den Veränderlichen der kleinen Magellanschen Wolke sind durch nachträglich angestellte Aufnahmeserien auch 13 kurzperiodische mit Perioden unter 1 Tag gefunden worden. Für ihre mittlere Periode (0<sup>d</sup>.64) ergibt sich aus der *Shapleyschen* Kurve, deren kurzperiodisches Ende ja die Entfernungen der Kugelhaufen voraussetzt, die scheinbare Helligkeit (in der Entfernung der Wolke) 16<sup>m</sup> · 2, während die Platten 16<sup>m</sup> · 1 liefern. Die Übereinstimmung ist vollkommen.

Es kann hiernach an der physikalischen Einheitlichkeit der kurz- und der langperiodischen Cepheiden und an der Allgemeingültigkeit der *Leavittkurve* kaum mehr gezweifelt werden. Um so dringender ist zu wünschen, daß das von *Kapteyn* geforderte Beobachtungsmaterial so bald wie möglich verfügbar wird.

Kruse.

**A Research on Moving Clusters.** (*Rasmuson*, Lund, Meddel. II 26.) Es ist eine nicht zu leugnende Tatsache, daß derjenige Teil der Astronomie, den man gemeinhin mit der Bezeichnung „Stellarastronomie“ belegt, einen immer größeren Umfang annimmt. Ebenso bekannt und oft schmerzlich empfunden ist die Lücke, welche die Literatur gerade hinsichtlich dieses Gebietes aufweist. Es gibt zwar eine Reihe mehr oder weniger brauchbarer populärer oder populär sein sollender Darstellungen, aber es fehlt uns das „Lehr“- oder „Handbuch“, das dem, der sich in die theoretischen und praktischen Grundlagen der Stellarastronomie einarbeiten möchte, das mühsame Zurückgehen auf die Originalabhandlungen wenigstens teilweise erspart. Man muß daher

jeden Versuch dankbar begrüßen, der gemacht wird, um einzelne mehr oder weniger große Abschnitte zusammenfassend zu bearbeiten. Aus solchen Monographien wird dann die Gesamtdarstellung herauswachsen können, die zu leisten ein Einzelner heute kaum mehr imstande wäre, wenn ihm nicht in dieser Weise vorgearbeitet würde. Als einen, und, wie gleich bemerkt werden soll, wohl gelungenen Beitrag solcher Art möchte ich die neueste aus *Charliers* Schule hervorgegangene Arbeit *Rasmusons* über „Bewegungshaufen“ ansehen. Sie ist vorbildlich in der Disposition wie in der Art der Auswertung der Ergebnisse.

Nach einer durch die kosmologischen Betrachtungen *Jeans'* inspirierten Einleitung gibt das erste Kapitel die notwendigen mathematischen Grundlagen: zwei Methoden zur Bestimmung des Konvergenzpunktes, die eine von *Charlier*, die andere von *Bohlin* herrührend; die Reduktionsformeln für Parallaxe und absolute Helligkeit; und schließlich Transformationsformeln zum Studium der räumlichen Verteilung der Sterne in den Haufen.

In den folgenden Kapiteln wird dann der Reihe nach für alle bis heute mit mehr oder weniger großer Bestimmtheit als solche erkannten Bewegungshaufen alles erreichbare Material zusammengetragen und jeweils durch eine Neubestimmung der Elemente durch den Verfasser abgeschlossen. Eine wertvolle Ergänzung der numerischen Daten stellen die als Anhang beigegebenen graphischen Darstellungen der Bewegungsverhältnisse und der räumlichen Anordnungen dar. Man möchte wünschen, daß von diesem das Verständnis oft so sehr erleichternden Hilfsmittel viel mehr Gebrauch gemacht würde, als gemeinhin geschieht; denn nicht jedem sagen trockene Zahlen all das, was ein Blick auf eine zweckmäßig angeordnete Zeichnung ohne weiteres erkennen läßt.

Kapitel XI gibt dann eine tabellenmäßige Zusammenstellung aller Ergebnisse, an die der Verfasser eine Reihe von Schlüssen anknüpft. Dabei bewahrt er sich kritischen Sinn genug, um die Grenzen dessen, was das Material heute herzugeben vermag, nicht zu überschreiten. Es seien hier einige der als gesichert zu betrachtenden Resultate hervorgehoben:

1. In den ausgesprochenen Bewegungshaufen herrschen die Riesensterne früher Spektraltypen vor. Je mehr Sterne späterer Typen sich als zugehörig erweisen, desto größer wird die Streuung der Bewegungen der Einzelindividuen gegenüber der mittleren Bewegung der ganzen Gruppe. Man kann darin eine schöne Bestätigung der Anschauung erkennen, daß sich die Sternhaufen mit zunehmendem Alter mehr und mehr zerstreuen und dem Zustande regelloser Verteilung der Geschwindigkeiten zustreben. Und ebenso erklärt sich daraus, warum die „jüngeren“ Haufen leichter entdeckt werden als die „älteren“.

2. Die Konvergenzpunkte der Bewegungen aller bisher bekannten Bewegungshaufen liegen in der Milchstraße oder doch in ihrer unmittelbaren Nähe. Es hat also den Anschein, als ob die Haufen in die Ebene der Milchstraße einwanderten, sich dabei mehr und mehr auflösend. Bekanntlich spielt dieser Gedanke in den Arbeiten *Shapleys* eine große Rolle, der damit das Fehlen der kugelförmigen, d. h. regelmäßigsten, jüngsten Sternhaufen in der Milchstraße selbst erklärt.

Das ausführliche Literaturverzeichnis am Schlusse der Arbeit erhöht deren Wert noch ganz besonders.

H. Kienle.

<sup>2)</sup> Harvard College Observatory, Bulletin 765.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W9. *U.S.A.*

Heft 39. (Seite 855—878)

29. September 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Aufbereitung und wirtschaftliche Verwendung der Kohlen, insbesondere der Braunkohlen. Von *K. Kegel, Freiberg i. S.* (Mit 5 Abbildungen.) S. 855.

Ein photographisches und optisches Standardwerk. Von *Fritz Weigert, Leipzig.* (Mit 6 Abbildungen.) S. 861.

Symbiose und Artproblem bei Hydra. Von *Wilhelm Goetsch, München.* (Mit 4 Abbildungen.) S. 867.

### Besprechungen:

Eckert, Max, Die Kartenwissenschaft. Von *O. Baschin, Berlin.* S. 871.

40 Blätter der Karte des Deutschen Reiches 1:100 000. Zweite Auflage. Von *O. Baschin, Berlin.* S. 872.

Günther, S., Eine Kartierung Oberschwabens um die Wende des 18. Jahrhunderts. Von *O. Baschin, Berlin.* S. 873.

Schöndorf, Fr., Wie sind geologische Karten und Profile zu verstehen und praktisch zu verwenden? Zweite Auflage. Von *F. Wilser, Freiburg i. Br.* S. 873.

Aster, E. von, Geschichte der neueren Erkenntnistheorie. Von *M. Schlick, Kiel.* S. 873.

Reichenbach, Hans, Relativitätstheorie und Erkenntnis a priori. Von *M. Schlick, Kiel.* S. 873.

Jaspers, Karl, Psychologie der Weltanschauungen. Zweite Auflage. Von *M. Schlick, Kiel.* S. 874.

Botanische Mitteilungen. S. 874—877.

Über das Resultantengesetz beim Haptotropismus. Erdwurzeln mit Velamen. Über Ruheorgane bei Wasserpflanzen und Lebermoosen. Ist das Hangen der Blüten eine Schutzeinrichtung? Subfossile Eibenreste in Schleswig-Holstein. Zur experimentellen Erzeugung eingeschlechtiger Maispflanzen. Biologische Studien über die Utriculablase. Versuche über die Vererbung der Augenfarbe beim Menschen.

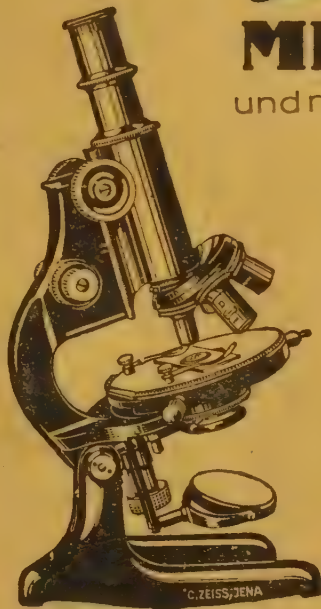
Astronomische Mitteilungen. S. 877—878.

Solarkonstanten, Sonnenflecken, Sonnentätigkeit. Die Ionisation der Elemente in der Sonnenatmosphäre und in den Sonnenflecken. Die relative Häufigkeit der Spektralklassen. Absolute Helligkeit und Spektraltypus (Russell-Diagramm).

# ZEISS

## MIKROSKOPE

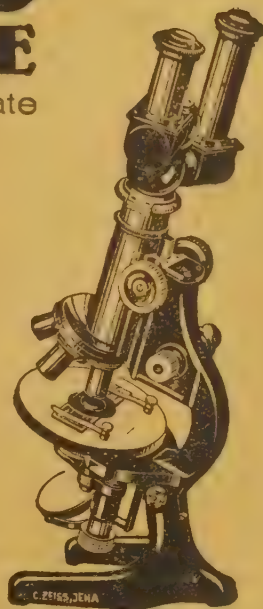
und mikroskopische Hilfsapparate



**Lupen**  
**Projektionsapparate**  
**Epidiaskope**  
**Photo - Objektive**

USW.

Druckschriften auf  
Wunsch kostenfrei



### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 250.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 25.—.

Sollte die im Druck- und Papiergewerbe auch weiterhin fortschreitende Teuerung, deren Ende heute noch nicht abzusehen ist, eine abermalige Erhöhung des Bezugspreises innerhalb des 4. Quartals 1922 notwendig machen, so muß sich der Verlag schon heute eine entsprechende Nachberechnung vorbehalten.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 18.— für die einspaltige Petitzelle angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
10 20 30 40% Nachlaß.

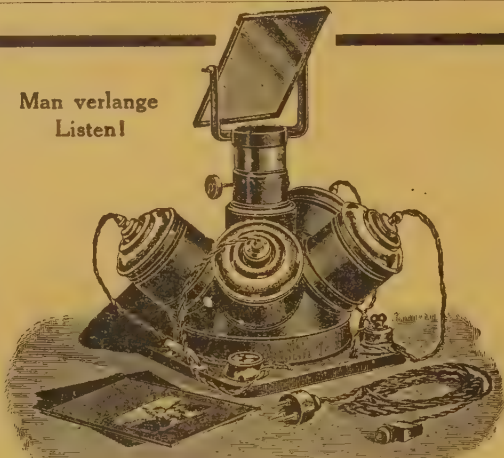
Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.

Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.

Postcheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20120 Julius Springer,  
Konten für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

Man verlange  
Listen!



### Projektions-Apparate Liesegang

Hochkerziges

## Globoscop

entwirft scharfe, helle Lichtbilder nach jedem Papierbild. An jede elektrische Lichtleitung anzuschließen.

Neue große Lichtbilder-Sammlung  
aus allen Gebieten  
für Lehr- und Vortragszwecke!

Ed. Liesegang, Düsseldorf  
Brieffach 124

### Mineralien, Kristalle und Gesteine

einzelnen und in ganzen Sammlungen.

Spez.: Vogtl. u. sächs. Vorkommen, sowie Graptolithen  
offert preiswert und in reicher Auswahl

Mineralien-Niederlage A. Jahn

Plauen i. V., Oberer Graben 9 (259)

Die Anschaffung des (258)

### Handwörterbuchs der Naturwissenschaften



10 Bände in Halbleder Tagespreis, erleichtert durch Zahlung in bequemen Monatsraten. Das Werk wird sofort vollständig geliefert.

H. Meusser, Buchhandlung  
Berlin W 57/9, Potsdamer Straße 75.

Soeben erscheint:

### Psychologie der Weltanschauungen. Von Karl

Jaspers, a. ö. Professor der Philosophie an der Universität Heidelberg. Zweite, durchgesehene Auflage. (XII, 488 S.) 1922. Preis M. 294.—; gebunden M. 384.— (und Teuerungszuschlag)

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

### Voigt & Hochgesang Göttingen

Fabrik f. Dünnschliffe,  
Kristallpräparate von  
eigenem, sowie von  
geliefertem Material.

(260)

Schul- und Studiensammlungen von ersten  
Fachleuten der Wissenschaft zusammengestellt.  
Kataloge stehen kostenfrei zur Verfügung.

### Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu kaufen gesucht. Angebote unter  
Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.



# Zur gefälligen Beachtung!

Wie die gesamte Tages- und Fachpresse leiden auch „Die Naturwissenschaften“ unter der nicht vorher zu berechnenden Entwertung des Geldes und der dadurch bedingten ständigen Erhöhung der Herstellungskosten. Der zuletzt im Mai für das dritte Vierteljahr 1922 festgesetzte Bezugspreis genügte schon seit langem nicht im entferntesten mehr zu einem Ausgleich für die inzwischen eingetretene weitere Erhöhung sämtlicher Unkosten. Der Verlag sieht sich daher gezwungen, den Bezugspreis der Zeitschrift „Die Naturwissenschaften“

für das 4. Vierteljahr 1922 auf **M. 250** festzusetzen.

Sollte die im Druck- und Papiergewerbe auch weiterhin fortschreitende Teuerung, deren Ende heute noch nicht abzusehen ist, eine abermalige Erhöhung des Bezugspreises innerhalb des 4. Quartals 1922 notwendig machen, so muß sich der Verlag schon heute eine entsprechende Nachberechnung vorbehalten.

Von seiten des Reichspostministeriums ist den Verlegern unter Berücksichtigung der gegenwärtigen schwankenden Preisverhältnisse eine nachträgliche Bezugspreiserhöhung ermöglicht worden. Die Postanstalten werden in Zukunft die Bestellung der Zeitschrift nur unter der Bedingung annehmen, daß die Bezieher im Falle einer Neufestsetzung des Bezugspreises innerhalb der laufenden Bezugszeit bei Vermeidung der Einstellung der Lieferung den vom Verlage aus zwingenden Gründen nachgeforderten Mehrbetrag nachzahlen.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer**

Berlin W 9, Linkstraße 23-24.





## Aufbereitung und wirtschaftliche Verwendung der Kohlen, insbesondere der Braunkohlen.

Von K. Kegel, Freiberg i. Sa.

Die geographische Verteilung der Kohle führenden Gebirgsglieder innerhalb Deutschlands hat wesentlich dazu beigetragen, eine starke industrielle Betätigung in den meisten Gebieten unseres Vaterlandes zu ermöglichen und dadurch der Konzentration der Industrie auf eng umgrenzte Gebiete wenigstens etwas entgegenzuwirken.

Die Wirkung ist für den Braunkohlenbergbau um so bedeutungsvoller, als die Braunkohlen fast überall da auftreten, wo die Steinkohlenablagerungen fehlen oder wirtschaftlich unbedeutend sind.

Das gilt vor allem für die Braunkohlengebiete von Hessen, Braunschweig, Sachsen-Thüringen-Anhalt und Brandenburg. Die reichen Braunkohlenlager der Villa liegen zwar mitten zwischen den ohnehin zusammenhängenden Steinkohlengebieten von Aachen und Westfalen-Rheinland, haben aber gerade durch ihre geographische Lage zur Rheinverkehrslinie eine hervorragende Bedeutung für die Kohlenversorgung Süddeutschlands. Neuerdings erlangen sie in steigendem Maße eine solche für die Elektrizitätsversorgung der wichtigen Industriegegend des Kölner Bezirkes dadurch, daß die Rohbraunkohlen in dieser Gegend das billigste Mittel zur Krafterzeugung darstellen, falls sie am Kohलगewinnungsorte, also unter Vermeidung aller Frachtkosten, Verwendung finden.

Für die Entwicklung und gegenseitige Konkurrenz der Stein- und Braunkohlen waren die Eigenschaften der Kohlen, die Entwicklung der Technik und die des Verkehrs von ausschlaggebender Bedeutung. Die an sich schon hochwertige Steinkohle gewinnen wir in Deutschland in so verschiedenen typischen Arten, daß man für die verschiedenen Verwendungsarten fast stets besonders geeignete Kohlsorten bereit hatte. Ich will nur hinweisen auf die Anthrazit- und Magerkohlen für den Hausbrand, die Eckkohlen für Kesselfeuerungen, die Kokskohlen für die Versorgung der Hochöfen mit Koks und die Gaskohlen für die der Gasanstalten. Dazu kommt, daß die physikalischen Eigenschaften der Steinkohlen für die Aufbereitung, d. h. die Ausscheidung der nicht brauchbaren Bestandteile, günstige sind. Die Kohle enthält nur wenig eigentliche Aschenbestandteile, d. h. äußerst fein verteilte und z. T. gelöste mineralische Bestandteile, während die Bergebestandteile meist nicht

so dicht mit der Kohle verwachsen sind, daß eine Trennung auf dem Wege der nassen Aufbereitung unmöglich wäre. Neuerdings hat man schon beachtliche Erfolge mit den Versuchen erzielt, auf dem Wege der Schwimmaufbereitung auch feinkörnig und dicht verwachsene Bergebestandteile aus der Kohle zu entfernen.

Bei dieser Sachlage ist es einleuchtend, daß sich die Technik der Auswertung der Steinkohlen verhältnismäßig schnell und kräftig entwickelte, wie es insbesondere der hohe Stand der Steinkohlenverkokung und -vergasung einschließlich der Gewinnung der dabei entfallenden Nebenprodukte zeigt.

Bei der Braunkohle hinderten die ungünstigen physikalischen Eigenschaften die Aufbereitung auf nassem Wege. Dazu kommt, daß etwaige Bergebestandteile als Sand mit der Kohle innig vermischt sind oder als Ton und Lehm mit Wasser Schlamm bilden. Ist die Braunkohle erdig, und das ist sie in der Regel bei allochthoner Ablagerung, also bei einer Ablagerung, in welcher die erwähnten Bergebestandteile am häufigsten auftreten und am innigsten gemengt sind, so löst sie sich im Wasser ebenfalls als Schlamm auf, wodurch die nasse Aufbereitung der Kohle außerordentlich erschwert wird. Glücklicherweise sind die deutschen Braunkohlenvorkommen in der Regel fast bergefrei. Ton- und Sandbänke lassen sich bei der Gewinnung leicht aushalten oder fallen bei dem Mächtigkeitsverhältnis zur reinen Kohle nicht ins Gewicht. Verunreinigungen sind in der Regel auf örtliche Störungszonen beschränkt. Infolgedessen werden auf den einzelnen Gruben meist nicht so viel unreine Kohlen (Sandkohlen) gefördert, um den Betrieb besonderer Aufbereitungsanstalten zu rechtfertigen.

Diese Umstände und die eben erwähnten Aufbereitungsschwierigkeiten haben bewirkt, daß man, abgesehen von einigen Ausnahmefällen, durchweg von der nassen Aufbereitung der Braunkohlen absieht. Muß man unreine Kohlen in größeren Mengen abbauen, so empfiehlt es sich, diese am Ort der Gewinnung zur Krafterzeugung zu verwenden, in der Regel also zum Betriebe elektrischer Kraftzentralen, hat die Kohle einen erheblichen Teergehalt, so kommt gegebenenfalls noch der Generatorbetrieb mit Teergewinnung in Frage.

Neben der ungünstigen physikalischen Beschaffenheit hinderte der durch den hohen Wassergehalt und der wenig günstigen chemischen Zusammensetzung bedingte niedrige Heizwert und damit der geringe wirtschaftliche Wert der Braunkohlen auch die Entwicklung der Auswertungstechnik.

Andererseits aber war auch die dem mitteldeutschen Braunkohlenbergbau eigentümliche Rechtsgrundlage des Grundeigentümerbergbaus der technischen Ent-

wicklung schädlich. Diese Rechtsgrundlage begünstigte wohl die Entstehung zahlreicher, wirtschaftlich schwacher Einzelbetriebe, war aber der Bildung größerer Betriebe, die eine technische Vervollkommenung ermöglichten, hinderlich, so daß die technisch notwendigen Zusammenschlüsse erst in den letzten Jahrzehnten erfolgten. Dadurch kam es, daß die chemische Verarbeitung der Braunkohlen sich bis zum Ausbruch des großen Weltkrieges nur wenig entwickelte. Auch die technische Vervollkommenung der Brikkettierung wurde zunächst nicht von innen heraus durch die Betriebe, sondern von außen her durch die Konkurrenz der Maschinenfabriken in die Wege geleitet. Die Wärmewirtschaft der Braunkohlenbrikkettfabriken ist zwar schon seit langem bei den meisten Anlagen sorgfältig überwacht worden. Jedoch fehlte es vielfach an klarer Erkenntnis der Zusammenhänge, die erst in den letzten Jahren vor und nach dem Kriege weitere Verbreitung und Vertiefung erfahren hat.

Darauf ist es zurückzuführen, daß früher vielfach die Dampftrockenapparate auch da mit hohem Druck betrieben wurden, wo ein großer Kraftbedarf vorlag, wo also zur besseren Ausnutzung der mechanischen Energie das Spannungsgefälle des Dampfes durch Anwendung niedriger Trockendampfdrücke möglichst erhöht werden sollte.

Das infolge des Krieges eingetretene Bedürfnis nach Treib- und Schmierölen hatte einen mächtigen Aufschwung der Teergewinnung aus Braunkohlen zur Folge, die etwa verdoppelt wurde. Ebenso erfuhr der Braunkohlenbergbau nach dem Kriege eine erhebliche Steigerung dadurch, daß die Leistungsfähigkeit der Tagebaue noch am schnellsten erhöht werden konnte, diese also in der Lage waren, gerade in den Zeiten der größten Kohlennot die fühlbarste Abhilfe zu schaffen.

Dieser allgemeine Überblick dürfte in großen Zügen die wesentlichsten Grundlagen der Entwicklung der Aufbereitung und Verwertung unserer Kohlen ergeben.

Wir wenden uns nun der Aufbereitung und Verwertung der Steinkohlen zu. Eine Beschreibung der zur Aufbereitung benutzten Apparate würde den Rahmen dieser nur dem Überblick dienenden Zusammenstellung überschreiten. Es werden deshalb nur die wissenschaftlichen Grundlagen der Aufbereitung kurz erörtert.

Bei größeren Stücken erfolgt das Aushalten oder Auslesen der Berge durch besondere Arbeiter. Bei Kohlen unter 80–100 mm Korngröße werden Aufbereitungsmaschinen verwendet. Sieht man von den wenigen Fällen ab, in welchen die verschiedenen Korngröße oder Stückform zur Aufbereitung, d. h. zur Trennung der Kohlen von den Bergen verwendet werden kann, so ist zurzeit für diesen Zweck in erster Linie der Setzmaschinenbetrieb im Gebrauch.

Die Trennung erfolgt in den Setzmaschinen durch Ausnutzung der verschiedenen Fallgeschwindigkeiten der Kohlen- und Bergestücke im Wasser. Jeder Körper, der schwerer als Wasser ist, erlangt beim Fallen im ruhenden Wasser in kurzer Zeit eine maximale Fallgeschwindigkeit.

Diese Fallgeschwindigkeit hängt ab vom spezifischen Gewicht, dem Inhalt, der Form sowie der Oberflächenbeschaffenheit des Körpers und dem horizontalen Querschnitt der durchfallenen Wasserschicht.

Unter der Annahme der Kugelform fällt eine Quarzkugel im unbeengten Raume ebenso schnell wie eine Kennelkohlenkugel, wenn sich deren Durchmesser wie 1:7 verhalten, d. h. wenn der Durchmesser der Kennelkohlenkugel das Siebenfache desjenigen der Quarzkugel beträgt. Im begrenzten Raum findet eine Verminderung der Fallgeschwindigkeiten statt, wobei bei gleichem Raumquerschnitt die Fallgeschwindigkeit der größeren Kugel stärker vermindert wird. Das liegt daran, daß sich die Widerstände mit Abnahme der Querschnitte zwischen fallenden Körper und Raumwandung naturgemäß erhöhen müssen.

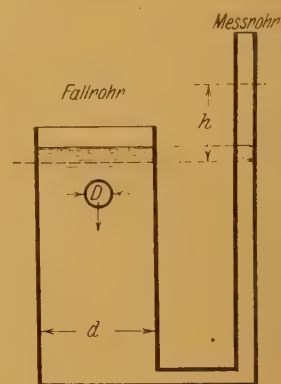


Fig. 1. Vorrichtung zur Beobachtung des Falles im beengten Raum.  $D$  = Kugeldurchmesser,  $d$  Fallrohrdurchmesser,  $h$  Höhenunterschied der Wassersäulen während des Falles der Kugel.

Die Veränderungen der Fallgeschwindigkeiten im beengten Raum lassen sich leicht feststellen durch Fallversuche, die man mit Hilfe eines mit Wasser gefüllten, aus Glas bestehenden Fallrohrs ausführen kann, an welches L-förmig ein Messrohr von etwa 3 mm  $\varnothing$  angeschlossen ist. Fig. 1. Läßt man im Fallrohr eine Kugel herabsinken, so steigt der ursprünglich in beiden Rohren gleich hochstehende Wasserspiegel im Messrohr beim Beginn des Absinkens sofort auf einen bestimmten Betrag. Während des Absinkens bleibt er hier ruhig stehen, um nach Beendigung des Falles wieder in die ursprüngliche Lage zurückzukehren. Zum Versuch wurde von mir eine Stahlkugel von 14 mm  $\varnothing$  verwendet. Während der Höhenunterschied  $N$  bei einem Fallrohr von 16 mm  $\varnothing$  den Betrag von 50 mm erreichte, verminderte er sich bei einem Fallrohrdurchmesser von 32 mm auf 15 mm. Die hindernde Gegenwirkung ist also im weiten Rohre geringer als im engen, wobei der Begriff weit und eng durch das Verhältnis von Kugeldurchmesser zum Rohrdurchmesser gegeben ist. Beträgt dieses Verhältnis 1:40 und darüber, so ist überhaupt keine



für die Praxis in Frage kommende Einwirkung bzw. Verminderung der Fallgeschwindigkeit zu beobachten.

Die Verschiebung des Wasserstandes um den Betrag  $h$  beweist, daß beim Fall im beengten Raum unter dem fallenden Körper ein relativer Überdruck entsteht, der naturgemäß bei einem größeren fallenden Körper auf eine größere Fläche wirkt, als auf einen gleichzeitig mitfallenden Körper. Daraus geht hervor, daß in einem hinreichend beengten Raume der Durchmesser der Kohlenkugel mehr als das Siebenfache des Quarzdurchmessers betragen muß, um mit der gleichen maximalen Geschwindigkeit zu fallen.

In der Setzmaschine liegt nun eine durch das aufgegebene Setzgut bewirkte Verengung des Raumes vor. Im großen und ganzen wird der Setzvorgang durch die Fig. 2 dargestellt. In einem U-förmigen Gefäß sind links ein auf- und abgehender Kolben, rechts ein Sieb, eine Eintrags- und zwei Austragsvorrichtungen vorgesehen.

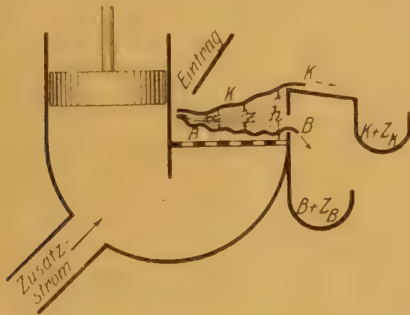


Fig. 2. Schematische Darstellung der Arbeitsweise einer Setzmaschine.

Das Gefäß ist mit Wasser gefüllt. Ferner wird Wasser in bestimmten Mengen gleichmäßig durch ein Rohr in den unteren Teil des Gefäßes zugeleitet. Durch die Kolbenbewegung wird das Wasser im Apparat in eine schaukelnde, am Siebe also in eine auf- und abwärts gerichtete Bewegung versetzt, wobei infolge des Zusatzstromes die Aufwärtsbewegung stärker als die Abwärtsbewegung ist.

Die Fallbewegung der Körper im Wasser ist nun als eine Relativbewegung aufzufassen, d. h. es kann ein Körper in gleicher Höhe gehalten werden, wenn sich das Wasser mit der maximalen Fallgeschwindigkeit aufwärts bewegt. Ist die Steigbewegung des Wassers negativ, d. h. sinkt es herab, so folgt daraus, daß dann die Fallbewegung des Körpers zum Siebe gleich der Summe der maximalen Fallgeschwindigkeit des Körpers und der Sinkgeschwindigkeit des Wassers ist.

Nimmt man nun an, daß das aufgegebene Setzgut aus Kohlen, Bergen und Durchwachsenem von gleicher Korngröße besteht, so werden die Berge am schnellsten, die Kohlen am langsamsten und das Durchwachsene, das sogenannte

Zwischenprodukt, schneller als die Kohlen, aber langsamer als die Berge fallen. Hierbei wird sich die Fallgeschwindigkeit des Zwischenproduktes derjenigen der Kohle nähern, wenn in dem betreffenden Stück der Kohlenanteil vorwiegt (ZK) bzw. sich derjenigen der Berge nähern, wenn im Stück die Berge vorwiegen (ZB). Da das Setzgut mit Hilfe eines Wasserstroms zugeführt wird und außerdem noch der Zusatzwasserstrom hinzukommt, fließt dauernd das Wasser über das Sieb den Austragsöffnungen zu (Fig. 2). Daraus ergibt sich für das Setzgut eine wellenartige Bewegung, bei welcher sich die Berge unmittelbar auf dem Siebe dem unteren Austrag zu bewegen, während die Kohlen dem oberen Austrag zugeführt werden. Je nach der Höhe und den Abmessungen der Austräge werden die Zwischenprodukte mehr oder weniger durch den unteren oder den oberen Austrag abgeführt. Die Einstellung erfolgt nach dem Mengenverhältnis der kohlereichen und bergerreichen Zwischenprodukte. In jedem Falle strebt man an, ein Waschprodukt mit einem bestimmten Höchstaschengehalt zu erzielen.

Ich habe bereits darauf hingewiesen, daß im beengten Raume die Kohlen erst dann ebenso schnell und schneller als die Berge fallen, wenn ihr Durchmesser mehr als das Siebenfache des Bergekorndurchmessers beträgt. Diese Tatsache ist von Baum benutzt worden, um den Waschprozeß mit dem Korn von etwa 10–80 Millimeter auf einem Setzbrett durchzuführen. Man braucht dann nur die Fein- und Stückkohle abzusieben und hat für die Korngrößen von 10–80 mm nur eine Setzmaschine nötig, wodurch die Anordnung der Kohlenwäsche außerordentlich vereinfacht und verbilligt wird. Naturgemäß ist auch der Betrieb und die Beaufsichtigung einer solchen Wäsche einfacher und billiger.

Diese Setzmaschine setzt voraus, daß das kleinste Bergekorn immer noch schneller fällt als das größte Kohlenkorn. Wenn es sich um eine Kohle mit wenig Zwischenprodukten, d. h. wenig Durchwachsungen von Kohlen mit Bergen handelt, so kann dieses System in einfachster Weise einwandfrei arbeiten. Bei stark mit Bergen durchwachsenen Kohlen sind jedoch erhebliche Schwierigkeiten zu überwinden, die vielfach das System „erst klassieren, dann waschen“ als vorteilhafter erscheinen lassen.

Bei Feinkohlen kann man die bisher beschriebene Art des Siebsetzens nicht gut anwenden, weil die Differenz der Fallgeschwindigkeiten nicht ausreicht, um innerhalb eines in Schaukelbewegung befindlichen Wasserstroms die räumliche Trennung so durchzuführen, daß Berge und Kohle für sich ausgetragen werden können. Da das Feinkorn den Wasserbewegungen zu schnell folgt, würden die im Betriebe unvermeidlichen kleinen Wasserwirbel sofort wieder eine Vermischung von Kohle und Berge im Wasserstrom bewirken. Man wendet daher das Bettsetzen an und nutzt hierbei die Tatsache aus, daß die Anfangsfallgeschwindigkeiten nur vom spezifischen Gewicht der Körper abhängen, und daß beim Fall im beengten Raum die größeren

Körper stärker gehemmt werden als die kleineren von gleichem spezifischen Gewicht. Das Bett besteht in der Regel aus groben Feldspatstücken, welche zweckmäßig so geformt sind, daß sie im Ruhezustand möglichst dicht aneinander schließen. Sie liegen auf dem Siebe. Der Zusatzwasserstrom unter dem Sieb fällt hier fort. Bewegt sich nun der Kolben abwärts, also das Wasser durch das Sieb aufwärts, so wird das Bett angehoben und lockert sich. Beim Zurück-

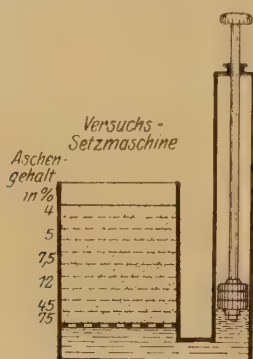


Fig. 3. Versuchssetzmaschine.

fallen eilen die über den Spalten befindlichen Bergkörner den Feldspatstücken voraus, d. h. gelangen zwischen und unter dieselben und schließlich in den Raum unterhalb des Siebes, aus welchem sie durch geeignete Vorkehrungen entfernt werden.

Das Ausbringen der Wäschchen ist vom Zustand derselben, von der Überwachung des Be-

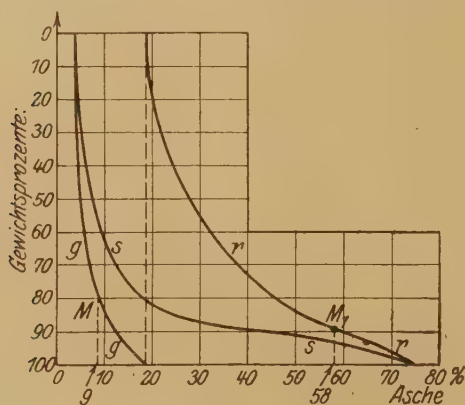


Fig. 4. Auswertung der Ergebnisse eines Versuches mit der Versuchssetzmaschine bei der Untersuchung einer Steinkohle mit ~ 18 % Aschengehalt.

triebes und von der Beschaffenheit der Kohle abhängig und schwankt daher in weiten Grenzen. Um einen festen Anhaltspunkt für die Beurteilung der Wäsche zu erhalten, empfiehlt sich die folgende, von Ing. Henry (Österr. Ztschr. für Berg- und Hüttenwesen, 1906, Heft 24) vorgeschlagene Untersuchungsmethode. In einem kleinen, gemäß Fig. 3 gebauten Setzapparat wird Kohle von einigermaßen gleichem Korn bzw. von dem in der Wäsche aufbereiteten Korn nach

ihrem Aschengehalt sortiert, indem man den Kolben längere Zeit langsam aufwärts und rasch abwärts bewegt, um den Waschprozeß wirksam zu gestalten. Die so aufbereitete Kohlenmenge wird aus dem Kasten in einzelnen gleich hohen Schichten herausgenommen, die jede für sich auf den Aschengehalt usw. untersucht werden. Am besten teilt man hierzu die Kohlensäule im Versuchssatzkasten in 10 Schichten von gleicher Höhe ein (Fig. 3). Die Resultate eines solchen Versuchs oder einer solchen Versuchsreihe werden dann zweckmäßig gemäß Fig. 4 graphisch aufgetragen. Hier bezeichnet

$s$  = den Aschengehalt der einzelnen Schichten,

$g$  = den Aschengehalt der oberhalb des betr. Punktes liegenden Schichten im Durchschnitt (Aschengehalt der Kokskohle).

$r$  = den Aschengehalt der unterhalb des betr. Punktes liegenden Schichten im Durchschnitt (Aschengehalt der Berge).

Im vorliegenden Falle ist eine Rohkohle von etwa 18 % Berge- und Aschengehalt gesetzt worden. Die oberen 50 % der Kohlschichten enthalten durchschnittlich 6,1 % Asche und Berge, und die als Berge auszutragenden unteren 50 % durchschnittlich 31,9 % Asche und Berge.

Ist der Versuch mit genügender Sorgfalt durchgeführt worden, so würde man aus dem Ergebnis schließen können, daß man nach Art der Beschaffenheit der Kohlen, wie Grad der Durchwachsung usw., im besten Falle nur ein Ausbringen von 50 % erhalten kann, wenn man ein Fertigprodukt von 6,1 % Aschengehalt erhalten will. Setzt man diese 50 % gleich 1, so kann man danach den Ausbringungswirkungsgrad der Kohlenwäsche eindeutig bestimmen.

Das Verfahren eignet sich besonders gut für Feinkohlen.

Bei stark durchwachsenen Kohlen wird man das Gesamtausbringen zu erhöhen suchen, indem man die Zwischenprodukte zerkleinert, wobei sich die Berge und Kohlen infolge ihrer verschiedenen Festigkeit größtenteils voneinander trennen, und diese Massen noch einmal dem Setzprozeß unterwirft.

Den durch den Waschprozeß erzielten Mehrwert der Kohle errechnet Dipl.-Ing. zur Nedden, Geschäftsführer der Technisch-Wirtschaftlichen Sachverständigenausschüsse des Reichskohlenrates, indem er den Mehrheizwert und den besseren Feuerungswirkungsgrad der gewaschenen Nußkohlen einsetzt, der durch den geringeren Aschengehalt und die Korngleichheit derselben bewirkt wird.

Sind:

$x$  = Waschverluste . . . . . = 16 %  
 $g$  = Gehalt der Waschberge an Brennbarem = 25 %  
 $z$  = der Aschengehalt der Förderkohlen gegenüber dem Aschengehalt der gewaschenen Kohlen in %, so ist

Beispiel



$$z = \left[ x - \frac{g}{100} \cdot x \right] \% = [16 - 0,25 \cdot 16] \% = 12 \%$$

also der Minderheizwert der Förderkohle . . . . . = 12 %

$M_w$  = Mehrverbrauch der Förderkohle gegenüber der Waschkohle infolge des höheren Aschengehaltes

$$M_w = \frac{1}{1 - \frac{z}{100}} = \frac{1}{1 - 0,12} = 1,14 \dots = 14 \%$$

$\eta_f$  = Feuerungswirkungsgrad der Förderkohle . . . . . = 0,70

$\eta_w$  = Feuerungswirkungsgrad der gewaschenen Kohle . . . . . = 0,75

$M_f$  = Mehrverbrauch der Förderkohle gegenüber gewaschener Kohle infolge geringerer Feuerungswirkungsgrade

$$M_f = \frac{\eta_w}{\eta_f} = \frac{0,75}{0,70} = 1,08$$

$M$  = gesamter Mehrverbrauch der Förderkohle gegenüber gewaschener Kohle

$$M = M_w \cdot M_f = 1,14 \cdot 1,08 = 1,24 = 24 \%$$

Hierbei sind die mittelbaren Nachteile, wie größere Kesselanlage, stärkeres Aschenziehen, Beschädigung der Fülltrichter, Chamottefutter und des Rostes durch die Berge außer Betracht geblieben.

Auf Grund dieser Überlegungen hat dann zur Nedden einen Eisenbahntarifplan ausgearbeitet, der so gehalten ist, daß die Zechen ein Interesse an einer gut aufbereiteten Kohle haben.

Ein weiterer, sehr wichtiger Weg der Aufbereitung und Veredlung der Steinkohlen ist derjenige der trockenen Destillation.

Wir unterscheiden heute streng zwischen dem Kokereibetrieb und dem im Werden begriffenen Verfahren der Tieftemperaturverkokung. Augenblicklich haben nur die Kokereibetriebe einen für unsere Volkswirtschaft ins Gewicht fallenden Umfang. Ich werde mich deshalb auf diese Betriebe beschränken und lasse dabei die Frage offen, ob und in welchem Umfange die Tieftemperaturverkokung an wirtschaftlicher Bedeutung gewinnen wird.

Die technische Entwicklung der Koksöfen hat sich, nachdem die ersten Schwierigkeiten einer einigermaßen guten Wärmeausnutzung der Heizeinrichtungen überwunden waren, soweit vollzogen, daß sich heute vier ganz bestimmte Typen herausgebildet haben, die Abhitzeöfen, die Regenerativ- und Rekuperativöfen, die Kammeröfen und die Verbundöfen.

Die älteren Flammöfen und größtenteils auch die Abhitze- und Regenerativöfen mußten am Zechenorte errichtet werden, wenn man an Transportkosten sparen wollte. Rechnet man etwa 75 % Koksausbeute, so ersparte man durch den Transport des Koks gegenüber der Kohle 25 % der Frachtkosten bei den alten Flammöfen, in welchen die aus der Kohle gewonnenen Teere und Gase restlos zur Beheizung der Koksöfen

verbraucht wurden. Durch die bessere Wärmeausnutzung der Abhitze- und Regenerativöfen ist der Verlust herabgedrückt worden, da etwa 40 % der entwickelten Wärme oder der Gase für andere Verwendungszwecke frei werden. Der Verlust und damit die Mehrfracht beträgt nur noch rd. 15 %. Immerhin ist damit noch genügend Anlaß gegeben, die Kokereien am Zechenorte zu errichten.

Vorübergehend schienen die Kammer- und Verbundöfen dazu berufen zu sein, eine wenigstens teilweise Verlegung der Kokereien von den Zechen zu den Hauptverbrauchsstellen, d. h. zu den großen Hüttenwerken anzubahnen. Die Kammeröfen zeichnen sich bekanntlich dadurch aus, daß sie durch Generatorgas beheizt werden, so daß das gesamte hochwertige Destillationsgas für andere Verwendungszwecke frei wird. Da man mit diesem Gas in den Martinöfen usw. günstiger arbeitete als mit Generatorgas, und da ferner in diesem Falle die gesamten in der Kohle steckenden Heizwerte am Verarbeitungsorte verbraucht wurden, also alle Mehrfrachten, bezogen auf die erhaltenen Wärmemengen, wegfielen, so baute man vielfach Kokereien auf den Hüttenwerken und bezog die entsprechenden Koks-kohlenmengen. Durch die Ferngasleitungen ist jedoch das Bild wieder verschoben. Bei der Versendung des Gases mittels Fernleitungen erspart man wieder die Transportkosten für die 25 % Gewicht der flüchtigen Bestandteile der Koks-kohle und ferner für die Generatorkohlen, und ermöglicht dadurch, was am wichtigsten für die Volkswirtschaft sein dürfte, die restlose Ausnutzung aschenreicher Kohlen bzw. kohlenreicher Berge, die sonst wirtschaftlich fast wertlos sind, da sie nicht die Kosten für weitere Bahntransporte wirtschaftlich vertragen, und nur Veranlassung zu den häufigen Bränden der Halden geben, denen sie vielfach mangels sonstiger Verwendbarkeit zugeführt werden müssen.

Von wesentlicher wirtschaftlicher Bedeutung ist die Wärmewirtschaft des Kokereibetriebes. Es ist hier, wie überall, zweckmäßig, eine genaue Wärmebilanz nach den Grundsätzen der kaufmännischen Kalkulation durchzuführen, wie dies auch von der Wärmestelle Düsseldorf angeregt wurde. Hierbei sind alle von dem Kokereibetriebe eingenommenen, also verbrauchten Wärme- und Energiemengen als Debet und alle nutzbar abgegebenen Wärme- und Energiemengen als Kredit einzutragen. Die Differenz (Saldo) ist der Selbstverbrauch der Anlage.

Um eine gute Wärmeleitung zu erhalten, hat man bei der Konstruktion und im Betriebe darauf zu achten, daß alle schädlichen Einwirkungen vermieden, alle günstigen verstärkt werden. So ist darauf zu achten, daß die Beheizung der Kammerwände möglichst gleichmäßig erfolgt und die Kohle nicht zu naß eingesetzt wird. Ferner geht man bei Neubauten mit der Kammerbreite zurück.

Ungleichmäßige Beheizung bewirkt eine Verlängerung der Gärungsdauer, da die Beschickung solange im Ofen bleiben muß, bis auch die im kältesten Teil des Ofens befindliche Kohle genügend verkocht ist. Damit entstehen Verluste durch Übergärung der heißer gehenden Teile des Kokskuchens und — bei Undichtheiten der Kammerwände — durch längere Einwirkung eindringender Heizgase auf den Kokskuchen bzw. durch Abströmen der Destillationsgase in die Heizzüge, je nachdem in den Heizzügen oder in den Kammern Gasüberdruck herrscht. Ferner werden durch übermäßige Erhitzung der heißgehenden Teile des Koksofens Schmelzungen des Mauerwerks usw. verursacht.

Durch die Verminderung der Kammerbreiten vermindert man die Garungszeiten, weil die Wirkung der schlechten Leitfähigkeit des Kokses entsprechend seiner geringeren Breite herabgesetzt wird. Dadurch werden auch die Strahlungs- und sonstigen Wärme- und Gasverluste entsprechend vermindert, so daß ein wesentlich höherer Gasüberschuß erzielt wird. Außerdem wird die Güte des Kokses, wie sich aus den in Amerika gemachten Versuchen ergeben haben soll, verbessert, ohne die Teerbeschaffenheit schädlich zu beeinflussen. Die geringe Verminderung der entfallenden Nebenprodukte kommt gegenüber diesen Vorteilen kaum in Betracht.

In gleicher Weise wirken auch alle sonstigen Verbesserungen der Beheizungseinrichtungen der Koksofen, die Verwendung der Wärme gut leitenden Silikatsteine in den Heizkammerwänden und alle Vorrichtungen zur schnellen und gleichmäßigen Beschickung der Kammern.

Hoher Wassergehalt bewirkt je Gramm mit der Kohle eingesetzten Wassers eine Erhöhung des Wärmeverbrauchs des Koksofens um 1 WE. Die Fig. 5 gibt die Beziehungen zwischen dem Wasser- und Gasgehalt der Kohle zum Wärmeverbrauch graphisch an.

Da zum Verdampfen eines Grammes Wasser theoretisch 0,637 WE erforderlich sind, im Koksofen aber 1 WE aufgewandt werden muß, so ergibt sich der thermische Wirkungsgrad praktisch für den vorliegenden Fall zu rd. 0,64. Tatsächlich ist der Wirkungsgrad höher, weil der Wasserdampf mit hoher Überhitzung entweicht. Diese ist jedoch hier nicht in Rechnung zu ziehen, da die Überhitzung bei der zwecks Gewinnung der Nebenprodukte erforderlichen Kühlung der Destillationsgase zwecklos vernichtet werden muß, und nur eine Erhöhung des Kühlwasser- und des damit verbundenen Kraftverbrauchs bewirkt. Da sich in dem kondensierenden Wasserdampf die Ammoniakgase lösen, muß das Ammoniak aus diesem Ammoniakwasser zwecks Weiterverarbeitung ausgetrieben werden. Hierzu ist eine Kesseldampfmenge in Höhe von 0,25—0,30 der Gewichtsmenge des Ammoniakwassers erforderlich. Die Gewichtsmenge des Ammoniakwassers entspricht der Gewichtsmenge des mit der Kokskohle in die Koksofenkammern eingesetzten Wassers.

Falls man die Kokskohle in Dampftrockenapparaten vortrocknet, so sind je kg zu verdampfenden (abzutrocknenden) Wassers 1,25—1,30 kg Trockendampf

nötig. Da im Koksofen der Feuchtigkeitsgehalt der Kokskohle verdampft werden muß und daneben zum Abtreiben des Ammoniaks 0,25—0,30 kg Kesseldampf erzeugt werden muß und der thermische Wirkungsgrad der Koksofen aus den eben erwähnten Gründen dem einer mittelguten Dampfkesselanlage gleich gesetzt werden muß, so verursacht der Wassergehalt der Kokskohle stets denselben Wärmeaufwand, gleichgültig, ob die Kokskohle mit Dampf vortrocknet wird oder ob sie naß in den Koksofen eingesetzt wird.

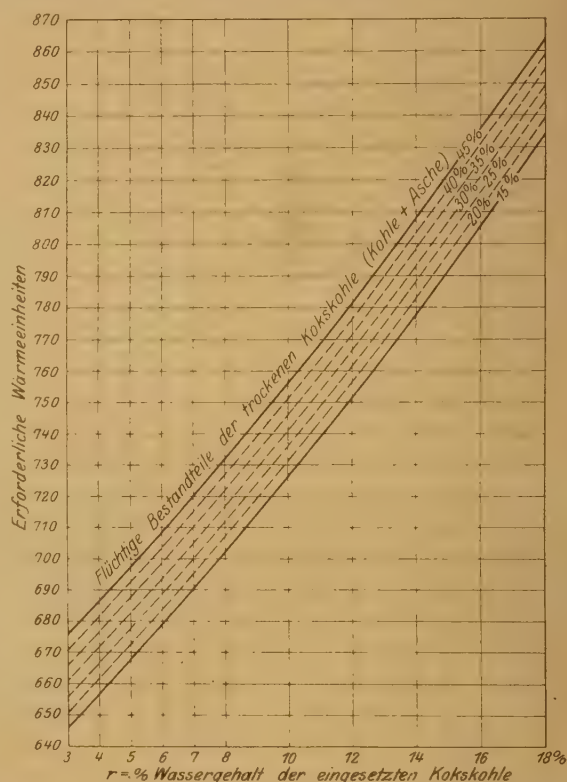


Fig. 5. Einfluß des Wassergehaltes der Kokskohlen auf den Wärmeverbrauch des Koksofens.

Berücksichtigt man nun, daß beim Einsetzen nasser Kokskohle ein größerer Kraftbedarf für das Fortsaugen der größeren Mengen dampfhaltiger Destillationsgase und für die Beschaffung größerer Kühlwassermengen nötig ist, und der Mehrverbrauch an Wärme für die Erzeugung hochgespannten überhitzten Wasserdampfes gegenüber einem niedrig gespannten, gesättigten Wasserdampf vergleichsweise gering ist, so läßt sich bei Durchführung der Vortrocknung der Kohle mittels Dampf ohne fühlbaren Mehraufwand an Wärmezufuhr, also an Heizmaterial, ein hochgespannter überhitzter Kesseldampf erzeugen, dessen Spannkraft zur Arbeitsleistung ausgenutzt werden kann, und der als Abdampf sodann ausreicht, die erforderlichen Wassermengen aus der Kokskohle abzutrocknen.

In diesem Falle hat man die Arbeitsleistung, was das dafür aufzuwendende Heizmaterial anbelangt, so gut wie umsonst.

Da es sich um erhebliche Koksmengen handelt, die jährlich erzeugt werden, so dürfte eine solche Anordnung der Anlage nicht nur im finanziellen Interesse des Werkes, sondern auch im allgemeinen volkswirtschaftlichen Interesse arbeiten.



Rechnet man mit einer mittleren Koksausbeute von 75 %, mit einem mittleren Wassergehalt der Koks-kohle von 12 % und nimmt man an, daß die Koks-kohle auf 5 % Wassergehalt vorgetrocknet werden soll, so ergeben sich je 1 Million Tonnen Kokserzeugung, etwa 13 760 000 Pferdekraftstunden, was je 1 Million Tonnen Jahreserzeugung bei einem vierundzwanzigstündigen Dauerbetriebe und bei jährlich 360 Arbeitstagen einem Maschinenaggregate von 1600 PS Dauerleistung entspricht, deren Arbeit, abgesehen von Wartung, Schmierung und Amortisation, kostenfrei gewonnen wird.

Rechnet man mit einer mittleren Tageserzeugung von 7 t je Koksofenkammer, so kann man je Kammer mit einer fast kostenfreien Gewinnung von 4 PS Dauerleistung rechnen, die sich bei Anwendung guter Maschinen, Kessel und Trockenanlagen auf 5 PS eff. Dauerleistung steigern läßt.

(Schluß folgt)

## Ein photographisches und optisches Standardwerk.

(E. Goldberg, Der Aufbau des photographischen Bildes!).)

Von Fritz Weigert, Leipzig.

Das Buch, welches hier den Lesern dieser Zeitschrift etwas eingehender bekanntgemacht werden soll, als es im Rahmen einer kurzen Bücherbesprechung möglich ist, ist in verschiedener Hinsicht bemerkenswert. Es behandelt in ganz neuer Art ein Thema, welches schon in vielen Hunderten von größeren und kleineren Monographien von verschiedenen Gesichtspunkten aus je nach den Bedürfnissen der Leser besprochen worden ist: die Herstellung eines photographischen Abbildes der Naturobjekte. Auch die Behandlungsweise ist bei den meisten Darstellungen bis auf geringe Unterschiede eine ähnliche: Ein meistens nicht sehr ausführlicher „wissenschaftlicher“ Teil, der einiges über die photographische Optik, die photochemischen Eigenschaften der Aufnahmematerialien und ihre Nachbehandlung beim Entwickeln, Fixieren usw. enthält, und dann ein „praktischer Teil“, in dem die verschiedenen vorkommenden Aufnahmeobjekte und die Besonderheiten bei ihrer photographischen Reproduktion besprochen werden.

Ganz allgemein findet man unter diesen zahlreichen, in vieler Hinsicht ausgezeichneten photographischen Werken, daß zwischen den wissenschaftlichen Grundlagen und den praktischen Anwendungen kein direkter Zusammenhang besteht, und es ist als sicher anzunehmen, daß ein intelligenter, chemisch und physikalisch gut ausgebildeter Student, der die wissenschaftliche Photographie in ihrem optischen und chemischen Teil vollständig beherrscht, und der die interessantesten Gradationskurven ausmessen und diskutieren kann, bei seinen ersten Versuchen am wahren Naturobjekt vollkommen versagt. Hier muß er sich genau wie der jüngste photographische Lehrling durch langjährige Übung und

Erfahrung sein „photographisches Gefühl“ erwerben, das ihn viel sicherer vor Fehlaufnahmen schützen wird als die ganze wissenschaftliche Photographie.

Diese Erscheinung ist wohl eine der Ursachen, warum die wissenschaftliche Photographie als solche — nicht die angewandte wissenschaftliche Photographie — sich so auffallend langsam entwickelt, trotzdem sie eine sehr große Anzahl wichtiger Probleme zu lösen berufen ist. Man kann mit einer kleinen erlaubten Übertreibung sagen, daß der wissenschaftlich-photographische Forscher meistens nicht photographieren kann, und der praktische Photograph nicht weiß, was ihm die wissenschaftliche Photographie nützt. Der erste kennt nur seine im Laboratorium erworbenen Erfahrungen, die praktischen Bedürfnisse der Photographie sind ihm aber unbekannt.

Wohl zum ersten Mal versucht E. Goldberg diese praktischen Aufgaben der Photographie wissenschaftlich zu definieren. Nicht eine Reihe von Helligkeiten, die von 1 bis 10 000 oder 100 000 anwachsen, das übliche Versuchsobjekt der Laboratoriumsphotometrie, soll photographiert werden, sondern ein reelles optisches Abbild der Außenwelt, welches als das „Mattscheibenbild“ in der photographischen Kamera entsteht. Mit dieser einfachen und so selbstverständlichen Problemstellung war der Weg zu einer vollkommen neuen Behandlungsweise der photographischen Bildentstehung gegeben.

Es ist merkwürdig, daß diese einzig natürliche Fragestellung als etwas Neues gewertet werden muß. Aber noch erstaunlicher ist es, daß Goldberg mit Recht erkennen mußte, daß auch die allerersten Vorarbeiten zu ihrer wissenschaftlichen Untersuchung noch nicht vorlagen. Auch die Helligkeitsverhältnisse in den verschiedenen normalen Naturobjekten sind noch unbekannt. Erst wenn man diese zahlenmäßig definieren kann, kann man an die Untersuchung ihrer Veränderungen durch den photographischen Aufnahmeapparat und die photographischen Materialien denken.

Hieraus ist die große Schwierigkeit der experimentellen Behandlung sofort klar, denn an Stelle eines einzigen messenden Laboratoriumsversuches hatten Hunderte von Versuchen an den wirklichen Naturobjekten zu treten, und zur Durchführung dieser großen Arbeit mußten erst die Grundlagen und vollkommen neue Hilfsmittel geschaffen werden. Es ergaben sich immer neue Faktoren, die gewohnheitsmäßig als längst bekannt angesehen wurden, in Wirklichkeit aber sehr wenig erforscht waren, so daß die Arbeit sich über viele Jahre hinauszog. Hier zeigt sich nun eine Eigentümlichkeit des Goldbergischen Buches, welche bei der jetzigen schnellen und etwas nervösen Entwicklung der exakten Naturwissenschaften psychologisch äußerst selten ist, daß der Verfasser in den mehr als zehn Jahren fast nichts über seine Arbeiten veröffentlichte. Nur seine

<sup>1)</sup> Halle. Wilhelm Knapp, 1922. 85 S. Preis M. 38.—.

wertvollsten Hilfsmittel, den bequem herzustellen- den Graukeil, beschrieb er im Jahre 1911 und außerdem einige direkt damit ausgeführte abgeschlossene Teiluntersuchungen.

Dieses wichtige photometrische Hilfsmittel, das man selbst schnell an alle Bedürfnisse der praktischen Lichtvergleichen anpassen kann, ist seitdem in den verschiedensten wissenschaftlichen Kreisen als „Goldbergkeil“ bekannt und wird vielfach verwendet. Es ist erklärlich, daß einige kleine Spezialprobleme, welche von *Goldberg* mit dem Graukeil behandelt wurden, in der Zwischenzeit mit demselben Hilfsmittel von anderen bearbeitet und publiziert wurden. So ist auch das in letzter Zeit viel verwendete *Eder-Hecht-Photometer* nichts anderes als ein *Goldbergkeil*.

Die Gesamtheit der geleisteten Arbeit wird nun abgeschlossen und abgerundet in dem jetzt kurz zu besprechenden Buch in knapper und übersichtlicher Weise dargelegt<sup>1)</sup>. Hierfür führt *Goldberg* einige Definitionen ein: Wenn man sich auf die einfarbigen photographischen Abbildungen beschränkt, sind auch im Naturobjekt nur Helligkeitsunterschiede und keine Farbenverschiedenheiten von Bedeutung<sup>2)</sup>. Ein paar benachbarter Einzelteile des optischen Bildes eines Gegenstandes wird „Helligkeitsdetail“ oder „Detail“ (Dt.) genannt.

In der genauen Definition der praktischen Details setzt die erste Neuuntersuchung ein. Nach dem Weber-Fechnerschen Gesetz wird der Unterschied von je zwei Empfindungen als gleich merklich geschätzt, wenn das Verhältnis der Reize das gleiche ist. Das Verhältnis der Helligkeit je zweier benachbarter Objektstellen wird daher als Maß für das Detail gesetzt und wird im Anschluß an die übliche photometrische und photographisch sensitometrische Darstellungsart in Form von dekadischen Logarithmen angegeben:

$$\text{Dt.} = \log I_1/I_2.$$

Die vorliegenden früheren Laboratoriumsversuche auf diesem Gebiet behandeln fast ausschließlich die *Unterschiedsschwelle* (U. S.) oder das geringste gerade noch merkbare Detail in Abhängigkeit von der Form, Größe, Helligkeit und Lage der Vergleichsfelder, und so wurde z. B. von *A. König* festgestellt, daß die U. S. bei mittlerer Helligkeit mit einem Helligkeitsunterschied von ca. 1 % (Dt. = 0,004) am niedrigsten liegt.

Zur Untersuchung der *praktischen Unterschiedsschwelle* wurde nun eine Testplatte, welche alle möglichen Helligkeitssprünge in regelmäßiger Anordnung (aus einem Keil hergestellt) enthielt, in der Bildebene eines Fernrohrs angebracht, so

daß beim Anvisieren der Naturobjekte jeder Stelle desselben jedes Detail überlagert werden konnte. Dabei ergab sich, daß auf ganz gleichmäßig hellen Flächen dieselbe U. S. von 1 % wie im Laboratorium erkannt wird. Die geringste Struktur erhöhte die Schwelle auf 2–6 %, wenn die Flächen schon an sich stark detailliert sind, auf 25–30 % und bei geringerer Helligkeit sogar bis 50 %.

Von großer Bedeutung für die späteren Probleme ist die Frage nach der *relativen Wichtigkeit* der Details, d. h. wo die Grenze liegt, unterhalb der das Detail ohne Verschlechterung des Eindrucks des Bildes weggelassen werden kann. Hier zeigten große Versuchsreihen, daß in hellen Bildstellen ein Detailverlust immer verschlechternd wirkt, sie erscheinen „kreibig“ und unangenehm. Das gilt aber nicht vom Himmel, und hierfür liegt ein physiologischer Grund vor: Der Himmel ist in der Landschaft immer der hellste Teil, und durch Blendungserscheinungen im Auge sind alle feineren Unterschiede verwischt. Wir sind also gewohnt, ihn fast völlig detaillos zu sehen. Deshalb wirkt auch auf einem Bilde eine relativ große detaillose Himmelsfläche nicht sehr störend, wenn auch Wolken immer die Wirkung verbessern. Bei mitteldunklen Bildstellen kann ein gewisser Detailverlust eintreten, während in den dunklen Partien ein Verlust bei den wenigen überhaupt vorhandenen Details unvor- teilhaft wirkt.

Als ein statistischer Mittelwert aus einer sehr großen Anzahl von Papierphotographien, die von verschiedenen Beobachtern unter dem Gesichtspunkt ausgewählt wurden, daß sie einen natürlichen Eindruck machen, wurden folgende wichtige Minimaldetails photometrisch ermittelt:

|                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| In hellen Objektstellen | 5 % (Dt. = 0,02)   |
| „ mittleren „           | 10 % (Dt. = 0,04)  |
| „ dunklen „             | 25 % (Dt. = 0,10). |

Diese zahlenmäßigen Angaben haben bei der wissenschaftlichen Behandlung die geläufigen Begriffe der „Lichter“, „Mitteltöne“ und „Schatten“ zu ersetzen. Dies gilt aber nicht nur für die Photographie! Rein gefühlsmäßig folgt jeder Maler diesem Gesetz, indem er selbst nur kleine detaillose helle Stellen im Bilde vermeidet, dagegen in den dunklen Partien auch große Stellen ohne kleine Details läßt, die photometrisch unter Laboratoriumsbedingungen wohl erkannt würden, aber beim Betrachten des Gesamtbildes unwichtig sind.

Neben dem Einzeldetail sind die gesamten Helligkeitsverhältnisse in einem Naturobjekt von Bedeutung. Den Logarithmus des Verhältnisses der hellsten zur dunkelsten Objektstelle nennt *Goldberg* den „Objektumfang“ (O. U.). Dieser Objektumfang kann in Wirklichkeit sehr groß sein, wenn man sich beispielsweise in einem dunklen Zimmer stehend durch eine Öffnung in die Sonne blickend denkt. Über die extremen Helligkeitsunterschiede bei verschiedenen Objek-

<sup>1)</sup> Das Buch ist gewissermaßen ein Privatdruck und enthält eine Anzahl vom Verf. persönlich überwachter Bromsilberaufnahmen, deren Wiedergabe in großer Auflage an dieser Stelle nicht möglich ist. Als Verleger zeichnet W. Knapp, Halle 1922.

<sup>2)</sup> Es wird also die Verwendung von wirklich orthochromatischen Platten angenommen, welche die Helligkeiten der verschiedenen Objektstellen in demselben Verhältnis angeben, wie sie unser Auge empfindet.



ten liegen schon in der Literatur einige zahlenmäßige Angaben vor.

Hiervon zu unterscheiden ist der „subjektive Objektumfang“ (S. O. U.), welchen wir mit den Augen überbrücken können. Als hellste Stelle kommt eine solche in Betracht, bei der ein Minimaldetail von 0,5 % noch gut erkannt wird, als dunkelste, wo gegenüber einem „schwarzen Körper“ noch ein Unterschied festgestellt werden kann. Der zahlenmäßige Ausdruck des subjektiven Objektumfanges ist der Logarithmus des Verhältnisses dieser beiden Grenzhelligkeiten. Der subjektive Objektumfang ist gegenüber dem Ob-

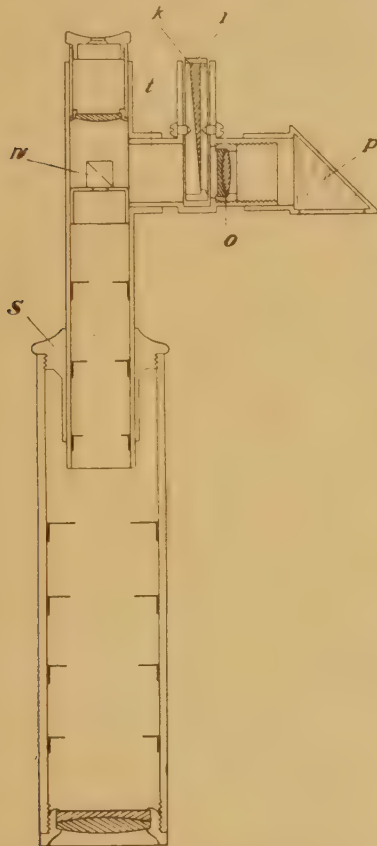


Fig. 1. Fernrohrphotometer, das mit Hilfe eines Keiles die Helligkeit jeder Objektstelle mit jeder anderen zahlenmäßig zu vergleichen gestattet.

jektumfang selbst durch physiologische Vorgänge im Auge, Adaptation, Blendung usw. stark begrenzt. Bei Landschaften kommen Werte einschließlich des Himmels bis 1,6—1,8 vor, bei Porträts mit schwarzer Kleidung 2,0—2,5, unter extremen Bedingungen, wenn die hellste Stelle nur klein ist, können Werte bis 7,0 bei bewegtem Auge vorkommen. Der S. O. U. ist es in Wahrheit, den wir bei einer richtigen Abbildung wiederfinden wollen.

Als „wahren Objektumfang“ (W. O. U.) definiert Goldberg das logarithmische Verhältnis der tatsächlich am Gegenstand gemessenen größten und kleinsten Helligkeiten. Dieser ist bei flächenhaften, im reflektierten Licht betrachteten Gegen-

ständen niemals höher als  $1,9 = \log 90/1$ , weil selbst die weißeste Stelle höchstens 90 % und die dunkelste immer noch 1 % des auffallenden Lichtes zurückwirft. Hier wirkt die bekannte „Albedo“, das Oberflächenlicht, stark einschränkend, und Goldberg stellte eine interessante Tabelle für verschiedene weiße und schwarze Materialien zusammen. Der W. O. U. ist für glänzende photographische Papiere größer als für matte.

Bei durchsichtigen Objekten, wie sie in Diapositiven vorliegen, ist der wahre Objektumfang theoretisch unbegrenzt, da man beispielsweise einen Keil herstellen kann, in dem die „Schwärzung“ von Null bis zu sehr hohen Werten wächst. Praktisch, und das ist das einzig Wichtige, kommt nach Mittelwerten aus zahlreichen Messungen für weiche Diapositive ein S. O. U. von 0,8—1,0 und für harte Bilder 1,4—1,9 in Betracht.

Ungleich wichtiger ist aber der wahre Objektumfang von räumlich ausgedehnten Objekten, und um diesen und die Helligkeitsverteilung in möglichst vielen gewöhnlichen Naturobjekten schnell kennenzulernen, hat Goldberg ein sehr einfaches Fernrohrphotometer (Fig. 1) konstruiert, welches mittels eines Keiles bequem die Helligkeit jeder Objektstelle mit jeder anderen zahlenmäßig zu vergleichen gestattet. Wie die Verhältnisse in Wirklichkeit hier liegen, wird sehr instruktiv mit typischen Landschafts- (Fig. 2 und 3) und Interieurabbildungen gezeigt, welche Zahlenangaben über die relative Helligkeit der verschiedenen ausphotometrierten Stellen enthalten (Fig. 3).

In der Landschaft zeigt sich die bekannte große Wirkung des Luftlichtes, welches die dunklen Stellen aufhellt und so auf den wahren Objektumfang verringernd wirkt. Diese Verhältnisse, welche in der Meteorologie unter der Bezeichnung „Sicht“ bekannt sind, mußten zahlenmäßig neu festgelegt werden. Als Maß für die Sicht wurde das schnell mit dem Goldberg-Photometer festzustellende logarithmische Verhältnis der Helligkeit des Himmels zu einem „schwarzen Körper“ in verschiedenen Entfernungen gewählt. Ein praktischer schwarzer Körper ist leicht durch eine Dachluke oder ein schwarz ausgeschlagenes Zelt zu erhalten. Hierbei ergab sich nun, daß die Sicht linear mit dem Logarithmus der Entfernungen ( $E$ ) bei konstanten meteorologischen Verhältnissen abnahm. Fig. 4 enthält die Abhängigkeit graphisch für verschiedene Luftverhältnisse:

$$\text{Sicht} = A - B \log E.$$

Die Sicht ist gleich Null, d. h. ein schwarzer Gegenstand ist neben einem weißen nicht mehr sichtbar, wenn  $\log E = A/B$  ist. Dieser Wert  $A/B$ , der innerhalb weniger Sekunden durch Messungen in zwei Entfernungen, am einfachsten graphisch zu bestimmen ist, wird als „absolute Sicht“ bezeichnet und zur Verwertung bei meteo-

rologischen Messungen vorgeschlagen. Photographisch sind diese Verhältnisse sehr wichtig bei bestimmten Spezialobjekten, unter denen nur die Ballon- und Fliegeraufnahmen genannt seien.

Wie aus dem Vorhergehenden ersichtlich ist, ist besonders durch die Sicht der wahre Objektumfang der Außendinge schon ziemlich beschränkt. Für die photographische Aufnahme kommt aber nur der W.O.U. auf der empfindlichen Platte oder dem Mattscheibenbild in Betracht, dem ein sehr wichtiges Kapitel des Gold-

Menge durch die Formel  $\frac{n(n-1)}{2}$  gegeben.

Dies würde für einige Normal-Objektiv-Typen folgende Anzahl ergeben:

1. *Landschaftslinse* (2 Flächen) 1 Bild,
2. *Verkitteter Doppelanastigmat* (4 Flächen) 6 Bilder,
3. *Anastigmatisches Triplet* (6 Flächen) 15 Bilder,
4. *Unverkitteter vierlinsiger Anastigmat* (8 Flächen) 28 Bilder.



Fig. 2 und 3. Landschaftsabbildungen mit Zahlenangaben über die relative Helligkeit der verschiedenen photometrierten Stellen.

bergschen Buches gewidmet ist. Um zur Mattscheibe zu gelangen, muß das Licht durch das photographische Objektiv in die Kamera eintreten. Für die Abbildung kommen aber nur die vom Objekt immer in derselben Richtung auf die Mattscheibe hinzielenden Anteile der Strahlen in Frage, für welche allein das Objektiv berechnet ist. Daneben finden aber an allen Grenzflächen Luft-Glas-Reflexionen statt, die zu anderen Abbildungen der Objektpunkte führen, welche teils im Objektraume, teils aber auch im Bildraum liegen. Hier aber fallen sie nicht in die Mattscheibenebene, und es entstehen in ihr verschieden große Zerstreuungskreise, welche eine allgemeine Aufhellung bewirken.

Durch eine einfache Landschaftslinse mit nur zwei Grenzflächen entsteht im Bildraum nur ein solches Spiegelbild, für  $n$  Grenzflächen ist ihre

Mittels einer besonderen mikrometrischen Vorrichtung hat nun *Goldberg* alle diese möglichen Bilder in bezug auf ihre Lage und Größe ausgemessen, und damit wertvolles Material zur experimentellen Prüfung wichtiger Fragen der theoretischen Linsenoptyk beigetragen.

Diese Ausmessungen, welche für kleine leuchtende Flächenelemente innerhalb und außerhalb der optischen Achse des photographischen Objektivs durchgeführt wurden, sind für die normalen Amateuraufnahmen vielleicht von geringerer Bedeutung. Bei spektrographischen Aufnahmen heller Linienspektren, die besonders in neuester Zeit photometrisch häufig sehr exakt ausgemessen werden, muß jedoch in Zukunft das falsche Reflexlicht genau berücksichtigt werden.

In den praktischen photographischen Fällen kommt das Licht, welches die störenden Objektiv-



reflexe hervorruft, meistens von der ausgedehnten Himmelsfläche in das Objektiv hinein. Um die Reflexstörungen auch in diesem Fall kennen zu lernen, wählte *Goldberg* einen äußerst einfachen direkten Weg. Er stellte das photographische Aufnahmeobjektiv mit einer Kamera in dem Zentrum einer großen innen weißen Halbkugel auf, welche durch einen Kranz von Glühlampen erleuchtet war (Fig. 5). In der optischen Achse des Objektivs war ein mit schwarzem Samt ausgeschlagenes kleines Rohr als „schwarzer Körper“ angebracht, welches also auf der Mattscheibe

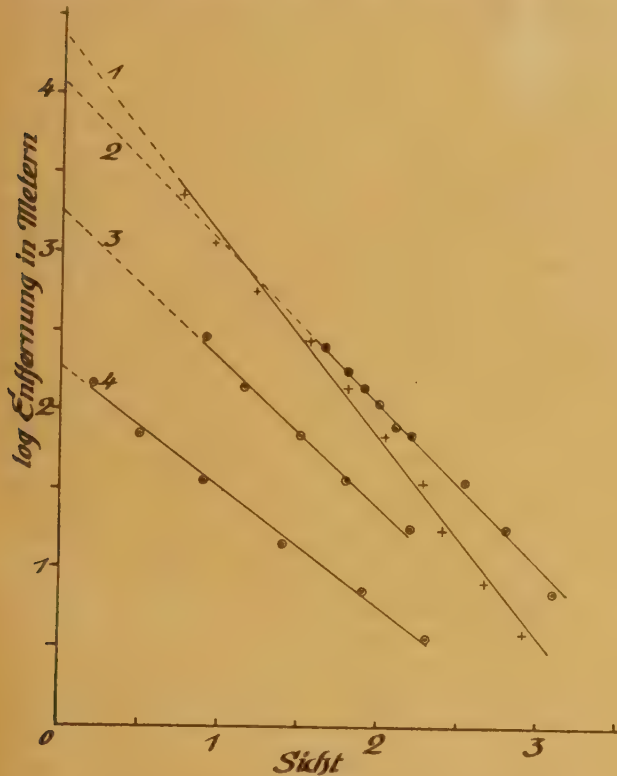


Fig. 4. Abhängigkeit der „Sicht“ von der Entfernung für verschiedene meteorologische Luftverhältnisse.

als schwarzer Kreis in sehr heller Umgebung erschien. Falls keine Objektivreflexe vorhanden wären, müßte dieser zentrale Teil auf einer licht-hoffreien photographischen Platte immer vollkommen glasklar auf stark gedecktem Grund erscheinen. In Wirklichkeit ist er aber selbst immer sehr merklich gedeckt. Das logarithmische Verhältnis der Helligkeiten der Umgebung und des schwarzen Körpers wird als die „spezifische Brillanz“ des betreffenden Objektivtypus bezeichnet. Für alle derartigen photographischen Helligkeitsvergleichen wurde analog dem Vorgehen von *Hurter* und *Driffeld* auf dieselbe Platte eine bekannte Helligkeitsskala, in diesem Fall ein *Goldbergkeil* aufkopiert, aus dem man dann die wahren Helligkeitsverhältnisse in dem eigentlichen Bild ermitteln kann. Die spezifische Brillanz der vier erwähnten Objektivtypen mit 1—4 Einzellinsen wurde zu 2,2, 1,8, 1,5 und 1,2 ermittelt. Es sind dies die ersten zahlenmäßigen

Messungen für erfahrungsgemäß längst bekannte Eigenschaften der photographischen Objektive, die sich z. B. in dem bis heute erhaltenen Namen „Landschaftslinse“ zu erkennen geben, der zeigt, daß sie durch ihre große Brillanz gerade den großen Objektsumfang einer Landschaft mit großen Himmelspartien zu überbrücken vermag.

Da nun die spezifische Brillanz das logarithmische Verhältnis des überhaupt hellsten und dunkelsten Bildteils darstellt, ist sie identisch mit dem wahren Objektsumfang des Mattscheibenbildes und stellt überhaupt den maximalen Helligkeitsunterschied dar, welcher auf die photographische Platte wirken kann. Es ist dies der photographisch allein wichtige „ausnutzbare Objektsumfang“ (A. O. U.), der durch Reflexe innerhalb der Kamera noch etwas verringert werden kann.

Dagegen wird der ausnutzbare Objektsumfang etwas über die „spezifische Brillanz“ des Objektives erhöht, wenn die Verhältnisse nicht so extrem sind, wie bei der leuchtenden Halbkugel. Es wurden spezielle Versuche mit einzelnen Kugelzonen und auch mit einem Kugelquadrant als leuchtender Fläche angestellt. Dieser letzte Fall entspricht dem praktisch häufig vorkommen-

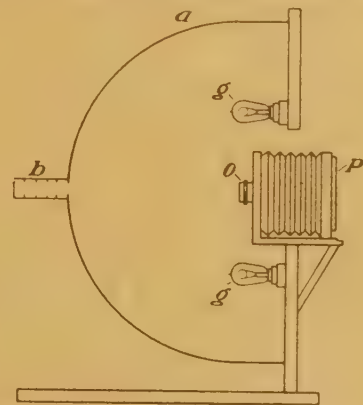


Fig. 5. Zur Ermittlung der störenden Objektivreflexe.

den, daß der Himmel die Hälfte des Bildes einnimmt. Die Brillanz und der A. O. U. ist aber in der Nähe des Horizontes, wie die folgenden Zahlen zeigen, nur unwesentlich größer als die „spezifische Brillanz“: 2,3, 2,0, 1,6, 1,3.

Es ist durchaus selbstverständlich, daß die Brillanz eines Objektives durch Staub, Fingerflecken usw. auf den Glasflächen verschlechtert wird. *Goldberg* begnügt sich aber nicht mit der qualitativen Feststellung dieser bekannten Tatsache, sondern greift das Problem wieder ganz großzügig an, indem er quantitativ die Lichtzerstreuung an trüben und trübenden Flächen untersucht. In diesem Zusammenhang wird der große Unterschied zwischen der „Milchglastrübung“ und der „Mattglastrübung“ graphisch festgelegt. Es ist zu hoffen, daß in Zukunft der leider so häufig auch in ernsten photometrischen Untersuchungen vorkommende Fehler, ein beleuchtetes Mattglas als leuchtende Fläche anzunehmen, weg-

fällt. Für das spezielle, hier besonders interessierende photographische Problem wird gefunden, daß durch eine stark beschlagene Landschaftslinse die Brillanz von 2,3 auf 1,2 herabgesetzt werden kann (Kugelquadrant als Objekt).

Es sollen hier die sehr eingehenden Besprechungen der verschiedenen Objektarten, wie Porträtaufnahmen, Reproduktionen, Fliegeraufnahmen, gerichtliche Aufnahmen, offene und Vordergrundlandschaften, welche alle in vielen Exemplaren photometrisch durchgemessen wurden, übergangen werden. Zur Festlegung der Eigenschaften des „Durchschnittsobjektes“, in dem besonders extreme Helligkeitswerte fehlen, werden 300 Bilder ausgemessen. Sie führten zur Fest-

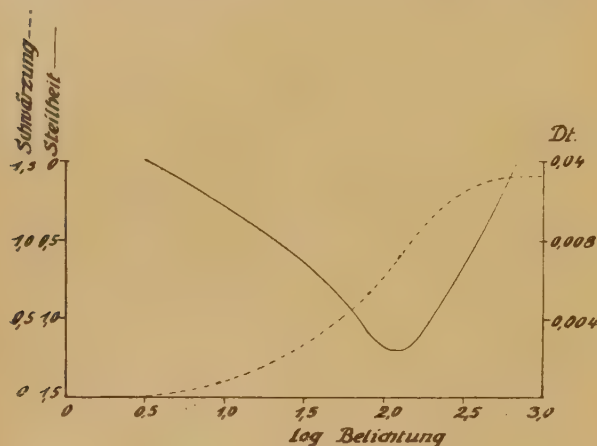


Fig. 6. Abhängigkeit der „Schwärzung“ (—) von der wirkenden Lichtintensität.

legung des schon erwähnten Minimaldetails von 0,02 in den Lichtern, 0,04 in den Mitteltönen und 0,1 in den Schatten bei einem Objekttumfang von 1,5 als zu den Erfordernissen einer brauchbaren Aufnahme gehörig.

Sehr klar sind in dem Buche von Goldberg die Eigenschaften der bekannten charakteristischen Kurven wiedergegeben, welche graphisch die Abhängigkeit der „Schwärzung“ des photographischen Materials von dem Logarithmus der wirkenden Lichtintensität darstellt. Ihre typische Gestalt hat die Form eines liegenden „S“, d. h. bei geringen Helligkeiten verläuft sie parallel der Abszissenachse, erhebt sich dann mit mehr oder weniger Neigung zu endlichen Schwärzungswerten, um bei sehr hohen Lichtintensitäten im Solarisationsgebiet wieder sich der Abszisse zuzukrümmen (die gestrichelte Kurve in Fig. 6). Für eine wahrheitsgetreue Photographie muß in der Kopie jedes Bilddetail gleich dem entsprechenden Objektdetail sein. Da das erste durch die Differenz der Schwärzungen ( $dS$ ), das zweite durch die Differenz der Logarithmen der Helligkeiten ( $d \log k$ ) ausgedrückt wird, ist, in Differentialform geschrieben, die Bedingung zu erfüllen:

$$\frac{dS}{d \log H} = 1$$

In Wirklichkeit ist allerdings das Negativ mit seiner charakteristischen Schwärzungskurve zwischen die Aufnahme und das Positivmaterial mit der ihm eigenen Kurve eingeschaltet. Wenn man aber das Negativdetail mit  $dS_N$  und die Neigung der Kurve mit  $\frac{dS_N}{d \log H} = n_N$ , das Positivdetail mit

$S_P$  und die Neigung der Positivkurve mit  $\frac{dS_P}{dS_N} = n_P$  bezeichnet, dann kommt es nur darauf an, daß  $\frac{dS_N dS_P}{d \log H dS_N} = \frac{dS_P}{d \log H} = 1$  ist.

Die Neigungen der beiden Kurven brauchen also nicht „ideal“ zu sein. Es muß nur die Möglichkeit gegeben sein, die Fehler des einen Materials durch die Eigenschaften des anderen auszugleichen. Wie dies für verschiedene Objekte zu erreichen ist, wird auf Grund sehr zahlreicher, mit neuen Apparaten ausgeführter Messungen an den verschiedensten Papiermaterialien diskutiert. Hierzu werden die bekannten Negativkurven herangezogen, jedoch in rationeller Weise nur für die Gebiete, welche den wahren und ausnutzbaren Objekttumfängen bei den verschiedenen Objekten entsprechen. Das Resultat dieser Betrachtungen, auf das hier nur verwiesen werden kann, ist die Feststellung ganz neuer Prinzipien für die Beurteilung der Empfindlichkeit und Güte der verschiedenen Platten und Papiermaterialien, welche den verschiedenen Zwecken angepaßt sein müssen, und damit die Begründung eines neuen Systems der photographischen „Sensitometrie“.

Gerade auf diesem Gebiet besteht heute noch eine recht große Unklarheit, welche sich, um nur ein Beispiel zu geben, in der lange beibehaltenen Gewohnheit zeigte, die Empfindlichkeit photographischer Platten nach dem *Scheinersystem* zu bestimmen, welches von *Scheiner* selbst nur für die Brauchbarkeit einer photographischen Platte für Sternaufnahmen ausgearbeitet war. Es ist zu erhoffen, daß das *Goldbergsche* Werk hier einen Wandel vorbereitet.

Der wichtigste neue Vorschlag, den *Goldberg* auf diesem Gebiet macht, ist die stärkere Berücksichtigung des von dem lichtempfindlichen Material wiedergegebenen Detail, welches natürlich identisch mit dem Differentialquotienten oder der Steilheit der charakteristischen Kurve für die verschiedenen Helligkeiten ist. Diese „Steilheit“ ist für die gestrichelte „Schwärzungskurve“ in der ausgezogenen Kurve der Fig. 6 dargestellt (Maßstab von oben nach unten zunehmend auf der linken Ordinate der Fig. 6). Dieselbe Kurve ist aber gleichzeitig die „Detailkurve“. Denn wenn man graphisch auf einer Ordinate das kleinste durch die Platte oder das Papier wiedergegebene Detail abträgt (Maßstab auf der rechten Ordinate der Fig. 6) und auf der Abszisse die Logarithmen der Helligkeiten, dann liegt die „Detailkurve“ für ganz geringe Lichtintensitäten sehr hoch, senkt sich im aufsteigenden Ast der Schwärzungskurve,



in dem schon kleine Sprünge in der Helligkeit sich durch merkliche Schwärzungssprünge andeuten, bis in die Nähe der Abszissenachse, um im Gebiete der „Überexposition“ wieder anzusteigen.

Um auch diese Verhältnisse schnell an möglichst vielen Objekten untersuchen zu können, hat *Goldberg* eine besondere „Detailplatte“ ausgebildet, welche wahrscheinlich das wichtigste Instrument der späteren photographischen Sensitometrie werden wird. Es wurde schon auf S. 862 eine Testplatte erwähnt, welche erlaubt, über jeden Punkt eines Naturobjektes ein bestimmtes Detail zu überlagern. Sie besteht aus einem *Goldbergkeil*, aus dem jedoch ein engmaschiges quadratisches Netz ausgespart ist. Man kann also immer direkt neben einer beliebigen Objekthelligkeit eine um ein bestimmtes Detail geringere auf einem kleinen quadratischen Feld beobachten, deren Unterschied in der Keilrichtung wächst. Durch Zusammenlegen dieses ausgesparten Keiles mit einem vollständigen mit senkrecht zu dem ersten gerichteter Keilrichtung ist in leicht ablesbarer Weise neben jeder Helligkeit jedes Detail zu beobachten. Eine solche kombinierte „Detailplatte“ wird beispielsweise auf einen Teil eines photographischen Aufnahmepapiers aufkopiert, während auf den anderen Teil ein beliebiges Negativ, dessen Eignung für das betreffende Papier man untersuchen will, kopiert wird. Beide zusammen werden nun entwickelt, bis die vom photographischen Standpunkt beste Wirkung erreicht ist, die vielleicht erst durch Tonung oder andere Nachbehandlung herauskommt. Dann wird aus der Detailplattenkopie direkt die Detailkurve abgelesen und damit eine zahlenmäßige Definition des Verfahrens für den speziellen Zweck erreicht. Jeder, der auf diesem Gebiete gearbeitet hat, wird ohne weiteres erkennen, welche großen Anwendungsmöglichkeiten dieses neue einfache Verfahren bietet.

Die vorstehenden Besprechungen können natürlich nur eine Andeutung von der Vielseitigkeit des Inhaltes des nur 85 Seiten enthaltenden Buches geben, den *Goldberg* unter den drei Hauptabschnitten: Das Naturobjekt, Das Mattscheibenbild, Die photographische Aufnahme zusammengefaßt hat. Der Verfasser läßt den Leser an seiner in Jahrzehnten gesammelten praktischen Erfahrung teilnehmen. Das Buch zeigt aber auch, daß es auch heute noch, vielleicht sehr selten, möglich ist, ein umfassendes, erschöpfendes Werk hervorzubringen, wenn der Verfasser wie in diesem Fall in gleicher überlegener Weise die physikalische und physiologische Optik, die Chemie, die Photographie, die Ästhetik und schließlich auch die praktische Feinmechanik beherrscht. Dies letzte scheint ein sehr wesentlicher Punkt bei einer solchen Arbeitsleistung zu sein, denn *Goldberg* hat fast jeden einzelnen seiner Hilfsapparate in seiner Werkstatt selbst hergestellt. Auch darüber teilt er im Anhang des Buches einige praktische Erfahrungen mit.

## Symbiose und Artproblem bei Hydra<sup>1)</sup>.

Von Wilhelm Goetsch, München.

Die Symbiose zwischen Hydrozoen und Algen ist im allgemeinen nicht so ausgeprägt wie bei anderen Tierklassen, bei denen wir solch dauerndes Zusammenleben verschiedener Organismen finden. Es macht oft mehr den Eindruck, als ob die Algen zufällig in dem Körper der Wirte ihren Wohnsitz aufgeschlagen hätten. Trotzdem ist nach meinem Dafürhalten auch diese Lebensgemeinschaft als wirkliche Symbiose aufzufassen; die Algen sind an die Polypen angepaßt, und auch die Polypen sind auf das Zusammenleben mit den niederen Pflanzen so eingestellt, daß sie normalerweise niemals ohne dieselben angetroffen werden und die Eier mit ihnen infizieren. Es ist allerdings noch nicht sicher erwiesen, ob sie einen wirklichen Nutzen von den Algen haben, die ihrerseits in den Zellen der Wirtstiere unbedingte Vorteile genießen. Dagegen scheint es, als ob manche Hydrozoen durch das Zusammenleben mit pflanzlichen Organismen gewisse Veränderungen erleiden, die keineswegs als pathologische Erscheinungen aufzufassen sind.

Bei unseren deutschen Süßwasserpolyphen war bisher nur eine Art bekannt, die mit Algen in Symbiose zusammenlebt: *Hydra viridis*, die jetzt als *Chlorohydra viridissima* von *P. Schulze* (1) als eigene Gattung abgesondert worden ist. Die Algen, die lediglich im Entoderm zu finden sind, gehören der Gattung *Chlorella* an und zeichnen sich durch typisch glockenförmige Chromatophoren aus. Bei der Knospung sowohl wie bei der Eibildung werden die Chlorellen dem neuen Individuum mitgegeben; da die Eier im Ektoderm entstehen, müssen sie durch die Stützlamelle hindurch, und dieser Transport geschieht wahrscheinlich durch Reservezellen des Entoderms, die zur Ernährung der Eier mit herangezogen werden. Wenigstens ist an Stellen, welche Ovarien tragen, das Entoderm ganz ausgesogen und materialarm (2).

Es ist bisher nur zweimal gelungen, einige wenige Chlorohydren von ihrem Symbionten zu befreien. Der Amerikaner *Withney* (3) erreichte es auf eine ziemlich rohe Methode, indem er durch schwache Glycerinlösung einen Überdruck in den Entodermzellen erzeugte, wodurch diese Zellen platzen und dabei nach und nach die Algen verloren. *Hadzi* (4) erzielte algenfreie Exemplare dadurch, daß Tiere, die im Dunkeln gehalten wurden, ihren Eiern keine Algen mitgaben. Dieser Erfolg ist wohl so zu erklären, daß durch den Lichtausschluß die Algenvermehrung unterdrückt wurde und dadurch die Reservezellen ohne Infektion überwanderten. Die Auf-

<sup>1)</sup> Nach einem auf der Tagung der Deutschen Zoolog. Gesellschaft am 8. Juni 1922 gehaltenen Vortrage.

zucht gelang indessen nur bei einem einzigen Exemplar.

Eine bedeutend größere Zahl weißer Chlorohydrén (5) ließen sich bei meinen Versuchen dadurch heranzüchten, daß ich Kälte, Dunkelheit und Kalkmangel *kombiniert* einwirken ließ, da ich aus Erfahrung wußte, daß jeder dieser Faktoren die Algenvermehrung beeinträchtigt. Dazu kam noch reichliche Fütterung, wodurch die Hydren so schnell ihre Zellen vermehren konnten, daß die Chlorellen damit nicht Schritt zu halten vermochten. Nach Verlauf einiger Wochen war bei dieser Behandlungsweise in den jungen Knospen eine Abschwächung der grünen Farbe zu bemerken, und zwar hauptsächlich in der Körpermitte, während Kopf und Fußteile ihre Färbung länger behielten. Da nun aber die ungeschlechtliche Vermehrung in den mittleren Regionen vor sich geht, wurden die Tiere von Generation zu Generation immer blasser, und bald waren einige Knospen bei ihrer Ablösung vollständig *ohne* Symbionten. Zunächst war die Farbe dieser algenfreien Individuen weißlich; bei Fütterung mit dunklen Beutetieren nahmen sie jedoch alle Farbnuancen an, die bei braunen Süßwasserpolyphen zu beobachten sind. Sie sind jedoch, wie es scheint, nicht imstande, die Farb- und Reservestoffe so lange aufzuspeichern, wie ihre braunen Gattungsgenossen und verlangen daher auch eine sorgfältigere Behandlung. Da sie auch hinfalliger sind als ihre grünen, von der gleichen Mutter abstammenden Verwandten, ist anzunehmen, daß doch eine innigere Beziehung zu den Symbionten vorhanden ist.

Eine spontane Rückverfärbung war bei allen Exemplaren, die wirklich algenfrei geworden, bisher niemals zu beobachten; auch die Tiere, die jetzt schon über vier Monate wieder im Hellen stehen, zeigen keine Spur von grüner Farbe. Zu bemerken ist übrigens noch, daß auch die Tiere, von denen der Versuch ausging, nach fünf Monate langer Dunkelheit ebenfalls weiß geworden sind; während Abkömmlinge von ihnen, welche den ungünstigen Bedingungen nicht so lange ausgesetzt waren, ihre Färbung beibehielten. Die Möglichkeit ist also doch vorhanden, auch aus einzelnen bestimmten Exemplaren die Algen zu vertreiben; nur müssen die für die Algen ungünstigen Bedingungen sehr lange einwirken und die Hydren ihrerseits gut gepflegt werden.

Das Vorhandensein von derart verschieden gefärbten Exemplaren derselben Art gab nun Gelegenheit zu mancherlei experimentellen Untersuchungen. Es ließen sich ohne weiteres tiefgrüne und reinweiße Teilstücke aufeinanderpfropfen, und durch derartige Transplantationen konnte die Frage nach der Überwanderung der Algen von Zelle zu Zelle der Lösung näher gebracht werden. Die Algen scheinen von den Entodermelementen in das Magen- und Darm-

lumen ausgestoßen zu werden und dann von neuem in die Zellen zu gelangen; denn nach einigen Tagen beginnen auch die weißen Abschnitte sich zu verfärben, und zwar auch an Stellen, die von der Verwachsungsnaht weit entfernt sind. Die Aufnahme geschieht wohl rein passiv mit der Nahrung, die bekanntlich bei den Hydren von den Entodermzellen intrazellulär verdaut wird. Man kann daher auch zerquetschte Reste grüner Individuen in Verbindung mit Nahrungsbrocken ins Innere aufnehmen lassen und auf diese Weise ebenfalls eine Neuinfektion weißer Tiere hervorrufen. Daneben halte ich es aber auch für sicher, daß bei Zellteilungen ebenfalls Algen weitergegeben werden, und zwar hauptsächlich aus folgendem Grunde:



Fig. 1. *Chlorohydra viridissima*. Transplantation von weißem, algenfreien Kopfstück auf grünes Fußteil. Knospe halb grün, halb weiß.

Entsteht vor einem Ausgleich der Färbung in der Nähe der Verwachsungsnaht eine Knospe, so kann sie häufig aus beiden Teilen zusammengesetzt sein und repräsentiert sich dann halb grün und halb weiß. Das ist natürlich nur möglich, wenn auch die jungen, bei dem Knospungsprozeß durch rasche Teilung entstehenden Zellen von vornherein Algen mitbekommen. Daß diese zweifarbigen Knospen ein Beweis gegen die rein ektodermale Entstehung der ungeschlechtlichen Fortpflanzungsprodukte sind, habe ich schon anderweitig erwähnt (6) (Fig. 1).

Im Gegensatz zu den Chlorohydrén mit ihrer festen Symbiose ist bei Angehörigen der eigentlichen Gattung *Hydra* verhältnismäßig leicht, die Algen wieder zu entfernen. Durch einige Veröffentlichungen (7) habe ich über das Auftreten dieses bisher noch niemals beobachteten Zusammenlebens von *Hydra* und *Chlorella* bereits aufmerksam gemacht und kann mich daher kurz fassen.

Meine Zuchten ehemals brauner Polyphen leben seit dem zuerst beobachteten Auftreten der Algen nunmehr bereits 1½ Jahr. Daß es sich bei den Tieren, die successiv grün zu werden be-



gannen, nicht um Chlorohydran handeln konnte, wurde zunächst durch biologische Momente deutlich. Sie waren nicht Hermaphroditen wie diese, sondern bildeten Ei und Sperma an verschiedenen Exemplaren, und die Befruchtung gelang auch mit Sperma brauner Polypen. Die Eier blieben



Fig. 2. *Hydra attenuata*. Kopf auf Fußstück von einer grünen Hydra aufgefropft. Die Ovarien entstehen an der Verwachsungsstelle.

ferner weiß; es war also noch *keine* Anpassung der Algen an die Reservezellen eingetreten, die im Gegenteil durch sie geschädigt zu werden schienen. Denn alle Tiere waren anfänglich beim Auftreten der Symbiose mehr oder weniger pathologisch verändert, und besonders auffällig

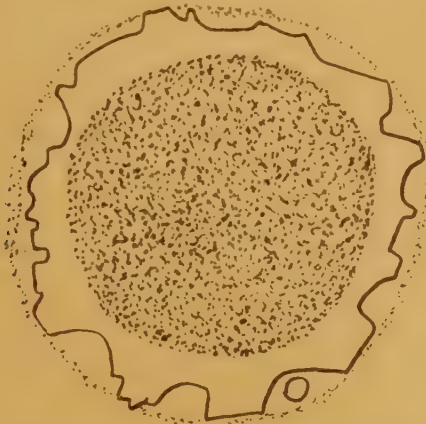


Fig. 4. Embryothek von *Hydra viridescens* links im optischen Schnitt, rechts in der Aufsicht.

war die herabgesetzte Regenerationsfähigkeit. Mit fortschreitender Gewöhnung an die Algen ließen indessen diese Erscheinungen nach, und nach Wiederherstellung der normalen Verhältnisse wurden auch die morphologischen Unterschiede von Chlorohydra deutlich. Durch Verfüttern von zerquetschten Entodermfetzen gelang es auch in der Folgezeit öfter, braune Hydren neu zu infizieren; und bei der Pfropfung von ver-

schiedenfarbigen Hälften wanderten die Algen nach und nach auch in die Teilstücke von Polypen ein, die früher noch niemals Algen in sich trugen. Die Fig. 2 zeigt ein derartiges Transplantationsexemplar, bei dem der Ausgleich der Färbung einzutreten beginnt. Eigenartig ist bei diesem Tier das Auftreten der Ovarien unmittelbar an der Verwachsungsstelle; ein Zeichen dafür, wie innig eine solche Vereinigung sein muß.

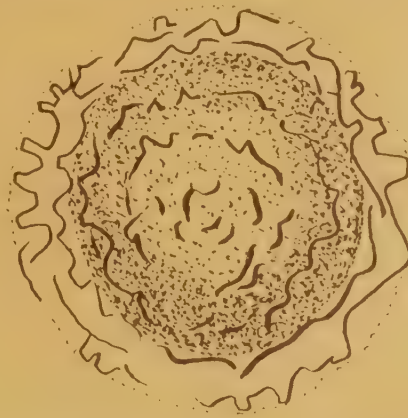
Die Algen dieser neuen grünen Form sind mit denen von Chlorohydra *nicht* identisch; die



Fig. 3. Links Algen von Chlorohydra, rechts Algen von *Hydra attenuata* var. *viridescens*. (Beide Formen in gleicher Vergrößerung.)

Gegenüberstellung beider Formen macht eine Erklärung unnötig (Fig. 3); auch gelingt es *nicht*, diese Algen in weißen Chlorohydran am Leben zu erhalten.

Ließen sich somit die Unterschiede von Chlorohydra einwandfrei feststellen, so war die



Frage, welche *spezielle* Art der braunen Hydra vorlag, nicht leicht zu lösen. Gestielte Pelmatohydren waren es nicht, das wurde bald augenscheinlich, sondern Angehörige der Art *Hydra*. Weiter ist aber bisher noch keine Bestimmung möglich gewesen: Alle Merkmale, die zur Feststellung der Spezies dienen, *versagten*. Die Nesselkapseln sind bei den veränderten Tieren so unregelmäßig, daß sogar die Spezialisten auf

diesem Gebiete, wie *P. Schulze*, die Tiere einmal als *H. attenuata*, einmal als *H. vulgaris* bestimmten. Die Embryothek (Fig. 4) ist ebenfalls mit keiner der bekannten Formen vollkommen übereinstimmend, wenn sie auch der von *H. attenuata* sehr ähnelt. Und sogar in der Biologie spotten meine Tiere jeder Einreihung in gewohnte Begriffe. Sie sind, wie ich bereits früher erwähnte (8), genochoristisch; aber nur insofern, als ein und dasselbe Individuum in jeder Geschlechtsepoche *nur* Eier oder *nur* Sperma produziert. Nicht aber auch seine Nachkommen, wie dies bisher stets bei Hydrozoen angenommen wurde. Die Knospen können sowohl ♂ wie ♀ sein; ein einziges Mal ließ sich sogar bei einem Exemplar, das wie viele andere über 10 Sexualepochen beobachtet worden ist, eine Geschlechtsumkehr beobachten. Wirkliche Zwitter mit Ei und Sperma zu gleicher Zeit traten aber bei den vielen hundert Exemplaren niemals auf, auch dann nicht, als ich versuchte, durch Transplantation dauernd künstliche Hermaphroditen zu erzeugen.

Wenn ich die Teilstücke verschiedenartiger ♂♂ und ♀♀ aufeinanderpflropfte, die bereits Ei- und Spermaanlagen besaßen, so entwickelten sich zwar die Geschlechtsorgane weiter; in der nächsten Sexualepoche waren aber die Tiere immer *nur* ♂ oder ♀, und erst unter ihrer Nachkommenschaft konnte dann wieder das andere Geschlecht auftreten.

Zur Erklärung dieser Verhältnisse nahm ich an, daß hier eine *Mutationsform der Polypen* vorläge, bei der neben morphologischen Abweichungen auch physiologische Veränderungen auftreten, die eine dauernde Aufnahme der Algen ermöglichen. Nun ließ sich aber einmal beobachten, daß bei einer Kultur von echter *H. attenuata*, die seit zwei Jahren in Beobachtung stand und lediglich Weibchen geliefert hatte, nach Verfüttern von Algen und Transplantation von grünen Teilstücken all die Veränderungen auftreten, die bei den spontan ergrüneten Hydronen zu beobachten sind. Auch *diese* Formen sind, nachdem die Symbiose dauernd geworden ist, weder als echte *H. attenuata* noch als echte *H. vulgaris* anzusprechen. Es läßt sich aber bei solchen Versuchen immer der Einwand machen, daß Teilstücke sich mit dem ursprünglichen Tier vermischen und dann eine Art *Chimärenbildung* eintritt; auch beim Verfüttern können natürlich einzelne Zellen der grünen Exemplare vom Entoderm mit aufgenommen werden und zwischen den ursprünglichen Elementen sich ansiedeln. So ist dieser Versuch noch kein vollgültiger Beweis dafür, daß etwa die Symbiose die *Ursache* dieser Erscheinungen ist; er zeigt aber, die enge Verwandtschaft meiner grünen Exemplare mit *H. attenuata*, da sonst eine Transplantation überhaupt nicht möglich wäre.

Ob Hydren, die durch Kälte oder Dunkelheit sehr leicht wieder algenfrei gemacht werden

können, nunmehr wieder den Speziescharakter *rein* aufweisen, ließ sich leider noch nicht feststellen. Es ist natürlich eine längere Zeit nötig, um alle etwaigen Folgen einer Algeninfektion rückgängig zu machen. Es müßten auch mehrere Geschlechtsperioden der Tiere sowie ihrer Nachkommen beobachtet werden, da eine Bestimmung nach den Nesselkapseln allein mir hier nicht zu genügen scheint.

Um eindeutige Resultate zu erzielen, müßte versucht werden, ob bei *H. attenuata* und *H. vulgaris* durch Zusammenleben mit meinen grünen Tieren spontane Verfärbungen eintreten. Das halte ich durchaus für möglich, wenn auch nicht jede Jahreszeit dafür geeignet zu sein scheint. Meiner Erfahrung nach ist das Frühjahr dem Überwandern der Algen besonders günstig; im März 1921 war das erste Auftreten von grünen Tieren und die allmähliche Verfärbung brauner Exemplare zu beobachten, und genau ein Jahr später konnte wiederum eine spontane Algenaufnahme festgestellt werden. Es ergrüneten Tiere in Kulturen, die aus befruchteten Eiern herangezogen waren, aber natürlich algenfrei blieben, da die Eier bei dieser neuen Symbiose nicht infiziert werden; ja sogar einige *Pelmatohydran* nahmen Algen auf, die jedoch bald aufgelöst wurden oder verschwanden.

Ob die Symbiose die Rassenveränderung hervorruft, ist demnach noch nicht einwandfrei festzustellen. Es wäre eine solche Beeinflussung natürlich vollkommen denkbar; durch die Algenaufnahme könnte der ganze Chemismus der Hydren so beeinflusst worden sein, daß alle Abnormitäten, welche sich bei den grünen Tieren finden, sich daraus ableiten ließen. Die interstitiellen Zellen, dies so wichtige Material für den Aufbau eines Hydrakörpers, wird sicherlich von den Symbionten in Mitleidenschaft gezogen, wie die herabgesetzte Regenerationsfähigkeit und andere pathologische Erscheinungen frisch infizierter Tiere zeigen. Es ist daher auch sehr leicht möglich, daß die Nesselkapseln und Embryotheken *nicht* der Regel folgen, da sie ebenfalls in den interstitiellen Zellen ihren Ursprung haben.

Gleichgültig, wie wir uns zu dieser Frage vorläufig stellen: das eine scheint nach diesen Versuchen sicher, daß die Gattung *Hydra* sehr zur Bildung von Rassen neigt, und jedes Merkmal, das zur Speziesfestsetzung dienen kann, mancherlei Veränderungen unterworfen ist. Da wir in den grün gewordenen Exemplaren alle möglichen Übergänge finden, muß angenommen werden, daß *Hydra attenuata* und *Hydra vulgaris* nur mehr oder weniger fest gewordene *Rassen* ein und derselben Art sind, die unter gewissen Umständen experimentell beeinflussbar sind. Für eine solche Beeinflussbarkeit sprechen auch die verschiedenen Formtypen, die *P. Schulze* (6) für *H. attenuata* beschreibt und abbildet. Sie sind unbedingt nur als Erscheinungsformen derselben



Rasse aufzufassen, da sie in ein und derselben Kultur auftreten können.

Als solche experimentell herstellbaren Erscheinungsformen möchte ich auch die Veränderungen auffassen, die den weißen, algenlosen Exemplaren manchmal ein durchaus anderes Aussehen verschaffen können als deren grünen Verwandten, von denen sie abstammen. Es liegt dies wohl nur an der sorgfältigeren Behandlung und Fütterung, die den Tieren ohne Symbionten gewidmet werden muß, um sie nicht verkümmern zu lassen. Vielleicht kommt es aber auch hier infolge der Aufhebung der Symbiose nach und nach zu dauernden Veränderungen, die dann die Aufstellung einer neuen Rasse oder Varietät rechtfertigen würden. Trotz aller Veränderungen, welche die Art erleiden kann, muß jedoch das eine festgehalten werden: die großen Gruppen oder *Gattungen*, welche *P. Schulze* (1) neuerdings präzisiert hat, sind unbedingt streng voneinander geschieden; eine *Pelmatohydra* kann niemals eine echte *Hydra* werden, und diese wiederum niemals eine *Chlorohydra*, auch wenn sie vollkommen grün ist. Gerade da dieser so augenfällige Unterschied der Färbung nicht mehr stichhaltig ist, muß eine Bestimmung nach Nesselkapseln und anderen konstanten Merkmalen an Wichtigkeit gewinnen, eine Bestimmung, die normalerweise auch für eine genaue Feststellung der Art oder Rasse genügt.

Wenn demnach über Art oder Rassenbildung im Zusammenhang mit Symbiose noch kein greifbares Resultat vorliegt, so sind doch durch die Verhältnisse bei unseren Süßwasserhydrozoen mancherlei Hinweise gegeben, die für Zusammenhänge sprechen. *Buchner* (9) hat bei seinen letzten Untersuchungen gefunden, daß die Bakterien in Insekten verschiedene Rassen bilden können, und es ist nicht einzusehen, warum nicht auch die Wirtstiere nach und nach von ihren Bewohnern beeinflußt werden. Es ist eine solche Beeinflussung ja sogar ein logisches Postulat, wenn eine vollkommene Symbiose eintreten soll. Leider kennt man aber außer bei den Hydren noch nicht das Auftreten einer solchen neuen Lebensgemeinschaft, und ebensowenig Formen, die trotz inniger Beziehungen mit und ohne Symbionten existenzfähig sind. Wenn auf diese Erscheinungen, die ja alle noch Neuland darstellen, erst mehr geachtet wird, steht zu hoffen, daß bald mehr Zusammenhänge zwischen Symbiose und Artbildung gefunden werden.

#### Literatur.

1. *Schulze, P.*, Bestimmungstabelle der deutschen Süßwasserhydrozoen. *Zoolog. Anz.* Bd. LIV, 1/2, 1922.
2. *Goetsch, W.*, Beiträge zum Unsterblichkeitsproblem II. *Biolog. Zentralbl.*
3. *Withney, D. D.*, Artificial removal of the green bodies of *H. viridis*. *Biol. Bull. Woods Holl.* Bd. 13, 1907.
4. *Hadzi*, Vorversuche zur Biologie von *Hydra*. *Arch. f. Entw.-Mech.* 22, 1906.
5. *Goetsch, W.*, Braune *Hydra viridis* L. *Zoolog. Anz.* 1922.

6. *Goetsch, W.*, *Hydra* und *Alge*. *Naturwissenschaften* 1922.
7. *Goetsch, W.*, Grüne *Hydra fusca* L. I—III. *Zoolog. Anz.* Bd. 53, 1921. — Eine neue Symbiose bei Süßwasserpolyphen. *Sitz.-Ber. d. Ges. f. Morphologie u. Physiologie*, München 1921.
8. *Goetsch, W.*, Hermaphroditismus und Gonochorismus. *Zoolog. Anz.* Bd. 53—55.
9. *Buchner, P.*, Rassen- und Bacteroidenbildung bei Hemipterensymbionten. *Biolog. Zentralbl.* 42, 1922. — Tier und Pflanze in ultrazellulärer Symbiose, Berlin 1921.

### Besprechungen<sup>1)</sup>.

**Eckert, Max, Die Kartenwissenschaft. Forschungen und Grundlagen zu einer Kartographie als Wissenschaft.** Erster Band. Berlin und Leipzig, Vereinigung wissenschaftlicher Verleger Walter de Gruyter & Co., 1921. XVI, 640 S., 10 Fig., 1 Karte. Preis geb. M. 150,—; geb. M. 165,—.

Ein hervorragender Fachmann gibt in diesem Werk unter Heranziehung von gewaltigem Literaturmaterial eine kritische Durcharbeitung der zahlreichen und mannigfaltigen Gesichtspunkte, die für Herstellung und Benutzung geographischer Karten in Betracht kommen. Es handelt sich dabei insofern um eine ganz neue Art der Darstellung, als hier weder ein Lehrbuch in dem üblichen Sinne geboten wird, noch auch eine Anleitung zum Aufnehmen bzw. Zeichnen von Karten oder zum Entwerfen von Projektionsarten, worüber schon eine reichhaltige und z. T. vorzügliche Literatur vorhanden ist. Zum ersten Male findet man hier die verschiedenartigsten Probleme und den gesamten umfangreichen Stoff der Kartenkunde übersichtlich zusammengestellt und kritisch durchgearbeitet, wobei namentlich auch die ältere Literatur eine weitgehende Berücksichtigung erfahren hat. Als ein besonderer Vorzug des Werkes ist zu rühmen, daß es interessant und in einem flüssigen Stil geschrieben ist, der auch solche Leser, die dem Stoffe fremd gegenüberstehen, zu fesseln geeignet sein dürfte. An Fülle des Inhalts, Vielseitigkeit der Darstellung und Reichtum an Gedanken übertrifft es zweifellos alle bisherigen Werke über Kartenkunde. Da an dem Entwurf von Karten Mathematik, Astronomie, Geodäsie, Geographie und zahlreiche andere Naturwissenschaften beteiligt sind, und daneben auch Technik und Kunst bei ihrer Herstellung mitzuwirken haben, so ist das Buch geeignet, das Interesse für die Bedeutung der Karten und deren kritische Würdigung in weite Kreise zu tragen. Zweifellos wird die stellenweise etwas scharfe Kritik des Verfassers den üblichen Widerhall hervorrufen und manche Einzelheiten der Darstellung werden nicht überall Beifall finden. Aber das Verdienst, durch sein Werk die Berechtigung einer besonderen Kartenwissenschaft überzeugend dargetan zu haben, kann man dem Autor nicht bestreiten.

Auf den Inhalt des Bandes näher einzugehen, ist im Rahmen einer Besprechung nicht möglich. Weist es doch nicht weniger als 382 einzelne Abschnitte auf, über welche daher nur ein flüchtiger Überblick gegeben werden kann.

Das erste Kapitel behandelt die Stellung der Kartographie im Gebäude der Wissenschaften, theoretische und praktische Kartographie, Induktion, Deduktion und Fiktion, psychische Hemmnisse, Kartenkritik usw.

<sup>1)</sup> Die Preise der Bücher sind ohne die Teuerungszuschläge eingesetzt.

Die historische Methode in der Kartographie wird nach Zweck und Aufgabe, Mittel und Wegen erörtert und ein Überblick über die Pflegestätten der Kartographie, insbesondere in Deutschland, gegeben.

Ein anderes Kapitel ist der Erforschung des Wesens der Karte gewidmet. Der Verfasser gelangt zu folgender Definition: „Die geographische Karte ist das Planbild eines größeren oder kleineren Teils der Erdoberfläche, das neben den Lageverhältnissen auch Flächen- und Raumverhältnisse und sodann geophysische, kultur- und naturhistorische Tatsachen graphisch übersichtlich so zur Veranschaulichung bringt, daß das Ablesen und Ausmessen der dargestellten Objekte ermöglicht wird.“

Von dem weiteren Inhalt des Bandes seien noch die folgenden Abschnitte angeführt: Grundzüge der gegenwärtigen und künftigen Entwicklung der Kartographie, Geschichte, Namen und Systeme der Kartenprojektionen sowie deren geographische Brauchbarkeit. Die Kartenaufnahme. Beziehungen zwischen Geographie und Geodäsie, Geologie und Topographie, Wirtschaftsgeographische Karten. Die topographischen Kartenwerke einzelner Länder. Die Genauigkeit der Karte. Die Aufnahmemethoden (lineare und flächenhafte Topographie, Triangulierung, Nivellement). Lichtbild und Kartenaufnahme (Aerophotogrammetrie, Luftbildkarten, Flugkarten). Maßstab. Orientierung. Generalisierung. Kartenschrift und Namen. Darstellung natürlicher Objekte. Zeichnung der von Menschenhand in das Antlitz der Erde eingegrabenen Spuren.

Das letzte Drittel des Werkes beschäftigt sich mit der Geschichte, den Tatsachen und den wissenschaftlichen Grundlagen der Geländedarstellung. Von den Uranfängen der Geländedarstellung bei Natur- und Kulturvölkern anfangend, führt die Schilderung über die mittelalterlichen Mönchskarten, die Renaissance und die am Ende des 18. Jahrhunderts einsetzende kartographische Revolution bis zur Gegenwart. Es folgen Kapitel über die Theorie der Geländedarstellung, die Lehmannsche und Müllingsche Böschungsschraffe sowie die Schattenschraffe und deren Anwendungsbereiche, die Terrairndarstellung in senkrechter und schräger Beleuchtung.

Daran knüpft der Verfasser die Darstellung eines neuen, von ihm ausgestalteten Systems der Geländedarstellung durch Punkte, eine Methode, durch welche eine schöne plastische Wirkung erzielt wird, wie eine beigegebene Kartenprobe beweist. Sie kann als eine Art Schummerung betrachtet werden, in der die einzelnen Punkte jedoch nicht wie bei den gewöhnlichen Schummerungskarten gesetzlos und lediglich nach dem Taktgefühl des Zeichners auf- und nebeneinander gehäuft, sondern nach bestimmten Gesetzen und wissenschaftlichen Grundsätzen aneinander gereiht sind.

Die letzten Abschnitte beschäftigen sich mit der Schichtlinie, ihrem Wesen, ihrem Genauigkeitsmaß, ihrer Beziehung zum Böschungswinkel, ihrer Bezifferung, Farbe und Beleuchtung sowie dem wissenschaftlichen Aufbau der Höhenschichtkarten. Diese letztere Art von Karten können durch geschickte Farbgebung der einzelnen Höhenschichten ganz außerordentlich an plastischem Eindruck gewinnen. Die Würdigung, welche der Verfasser den verschiedenen Systemen der Farbenplastik, besonders demjenigen von K. Penck, zuteil werden läßt, nimmt deshalb auch auf physiologische und psychologische Arbeiten über die Raumwirkung der Farben Bezug.

Die Bedeutung kartographischer Darstellungen wird heute selbst von Geographen vielfach noch immer nicht genügend gewürdigt, ganz zu schweigen von Vertretern

anderer Wissenschaften. Die Karte ist aber längst nicht mehr ein bloßes Hilfsmittel, sondern an sich schon ein Forschungsobjekt geworden. Das Eckertsche Werk, das den gewaltigen Stoff zum ersten Male systematisch gliedert, dürfte dazu beitragen, die Vertreter aller Naturwissenschaften zu einer erhöhten Wertschätzung der Karte zu veranlassen. Daß diese von seiten des Handels und der Industrie sich in höchst erfreulicher Weise bereits bemerkbar macht, das beweist eine dem Werke beigelegte Liste zahlreicher kaufmännischer und industrieller Unternehmungen, insbesondere solcher in Aachen, die in hochherziger Weise die Herausgabe der „Kartenwissenschaft“ unterstützt haben.

O. Baschin, Berlin.

**40 Blätter der Karte des Deutschen Reiches 1 : 100 000**, ausgewählt für Unterrichtszwecke. Zweite verbesserte Auflage. Hierzu ein Blatt Zeichenklärung und ein Übersichtsblatt sowie ein Heft Erläuterungen (62 Seiten) von W. Behrmann, mit einem Vorwort von A. Penck. Berlin, Reichsamt für Landesaufnahme, 1921. Preis M. 60,—.

Das große, 675 Blattnummern umfassende Kartenwerk der sogenannten Generalstabskarte, das nach 32jähriger Tätigkeit im Jahre 1910 vollendet wurde, ist die erste Spezialkarte, welche das ganze Reichsgebiet in einheitlicher Weise zur Darstellung bringt. Die Blätter sind, was die genaue Wiedergabe des Tatsachenmaterials, dessen wissenschaftliche Durcharbeitung, künstlerische Darstellung und technische Ausführung anbetrifft, als Muster von Zuverlässigkeit, Schönheit und Zweckmäßigkeit so allgemein anerkannt, daß es sich erübrigt, darauf näher einzugehen. Sie stellen die Quelle dar, die am häufigsten herangezogen wird, wenn es gilt, sich ein anschauliches und getreues Bild von irgendeinem Teile deutschen Bodens zu machen, und aus diesem Grunde ist der Kreis ihrer Benutzer ein sehr weiter und umspannt die verschiedensten Berufe. Vor allem sind die Karten ein ausgezeichnetes Hilfsmittel für den Unterricht auf Schulen und Hochschulen, weil ihr so überaus reicher Inhalt vielfach Gelegenheit bietet, mathematische, astronomische, geodätische, geophysikalische, klimatische, hydrographische, morphologische und geologische Probleme zu erörtern, die Verschiedenartigkeit der Siedelungen hervorzuheben und von geschichtlichem Standpunkt aus zu erklären, die Einzelheiten des Wege- und Eisenbahnnetzes zu besprechen, die Bedeutung der Ortsnamen in das rechte Licht zu setzen usw.

Um das Kartenwerk nun dieser Art der Benutzung zuzuführen, hat Professor A. Penck 40 Blätter ausgewählt, die sich für solche Unterrichtszwecke besonders eignen. Die Auswahl ist so getroffen worden, daß die verschiedensten Landschaftsformen, von der Meeresküste bis zum Hochgebirge und die mannigfaltigen Formen der Siedelungen sowie deren Verteilung unter den 40 Blättern vertreten sind. W. Behrmann gibt zu jedem Blatt eine kurze, nur ein bis zwei Seiten umfassende Erläuterung, in der die Oberflächenformen, deren Entstehung und Abhängigkeit vom Gebirgsbau dargestellt, der Karteninhalt aber außerdem auch vom siedelungs- und verkehrsgeographischen Gesichtspunkt gewürdigt wird. Über den Umfang der 40 Blätter hinaus greift ein Anhang des Erläuterungsheftes, aus dem zu ersehen ist, welche Blätter der Karte des Deutschen Reiches bestimmte morphologische Einzelheiten und Siedlungsformen zur Darstellung bringen.



Die Sammlung eignet sich in hervorragender Weise für den Unterricht in der Heimatkunde und zur Einführung in das Verständnis topographischer Spezialkarten.

O. Baschin, Berlin.

**Günther, S., Eine Kartierung Oberschwabens um die Wende des 18. Jahrhunderts.** Sitzungsberichte der Bayerischen Akad. d. Wissensch. Math.-physik. Klasse, München, Jahrgang 1921, S. 315—330. Mit einer Kartenskizze.

Die Abhandlung bietet eine ausführliche Schilderung der hervorragenden Leistungen des Geometers J. A. Ammann (geb. 1753) auf topographischem und kartographischem Gebiet. In einer selbständigen Schrift (Geographische Ortsbestimmungen im östlichen Schwaben und dessen Nachbarschaft vermittelt eines zehnschuhigen Zenithsektors und siebenzölligen Dollondischen Spiegelsextanten. Dillingen 1796) hat dieser verschiedene wichtige Fragen der topographischen Aufnahme sowie der kartographischen Darstellung behandelt und eine Karte von Oberschwaben in konischer Projektion beigelegt, die Günther in einer kleinen Textskizze wiedergibt. Während die damaligen Karten deutscher Länder sowohl in ihren mathematisch-geographischen Grundlagen, wie in der Situationszeichnung sehr viel zu wünschen übrig lassen, ragt Ammanns Karte in jeder Beziehung über all das, was im Bereiche des Römischen Reiches deutscher Nation vorlag, weit hervor. Trotzdem ist sie lange Zeit wenig beachtet worden, und der Verfasser hat sich durch die liebevolle Würdigung der tüchtigen Leistungen dieses deutschen Topographen Anspruch auf unseren Dank erworben.

O. Baschin, Berlin.

**Schöndorf, Fr., Wie sind geologische Karten und Profile zu verstehen und praktisch zu verwerten?** 2. Aufl. Berlin, Gebr. Borntraeger, 1922. V, 100 S. und 63 Abb. 13 × 20 cm. Preis M. 30,—.

Nachdem die geschichtliche Entwicklung der geologischen Kartendarstellung kurz erläutert ist, werden einige geologische Grundbegriffe (Streichen, Fallen, Fazies usw.), der geologisch-bergmännische Kompaß und dessen Anwendung erörtert. Auf 10 Seiten folgt das Wesentliche über topographische Karten und topographische Profile, die Unterlagen der geologischen Darstellungen. Seite 26—59 geben Anleitung zum Verstehen der geologischen Karten, indem Darstellung der Schichtgrenzen, des Ausstrichs, der Mächtigkeit, des Streichens und Einfallens, alles mit lehrreichen Beispielen und Zeichnungen beschrieben werden. Geologische Profile sind kurz behandelt zugunsten der Darstellung von Lagerungsstörungen (Verwerfung, Überschiebung, Staffel, Horst und Graben) und deren praktischer Bedeutung (S. 60—74). Wie Flexur, Hackenwerfen, Transgressionen, Faltungen in der Karte erscheinen und wie praktisch auf diese Rücksicht zu nehmen ist, erörtern mit Beispielen S. 74—91. Weniges folgt noch über Lagerung des Diluviums und Alluviums und der Eruptivgesteine sowie über agronomische Karten. Alles ist knapp und klar gehalten und als Fibel für den, der geologische Karten lesen und verstehen lernen will, bestimmt. Mit diesem Büchlein hat der Borntraegersche Verlag ein nützliches Gegenstück zu dem bereits 1919 erschienenen Stutzerschen Werkchen „Geologisches Kartieren und Prospektieren“ herausgebracht, das die Lehre von der geologischen Kartenaufnahme behandelte.

J. Wisler, Freiburg i. B.

**Aster, E. von, Geschichte der neueren Erkenntnistheorie.** Berlin und Leipzig, Vereinigung wissen-

schaftlicher Verleger, 1921. VI, 638 S. Preis geh. M. 90,—; geb. M. 100,—.

Ein ungemein gründliches und ins einzelne gehendes Buch. Es behandelt die Erkenntnistheorie in der Zeit von Descartes bis Hegel, umfaßt also auch die Epoche der Entstehung der modernen Wissenschaft, mithin ein Gebiet, dem viele Leser dieser Zeitschrift reges Interesse entgegenbringen werden. Der Verfasser löst die Aufgabe, die er sich gestellt, mit glücklicher Hand. Er hütet sich davor, in die Geschichte der Philosophie den Gedanken einer stetigen Entwicklung nach einem ganz bestimmten Ziele hineinzulegen, er mißt den Fortschritt der Erkenntnistheorie nicht mit einem vorgelegten Maßstab und ergeht sich nicht in umfassenden geistesgeschichtlichen Betrachtungen, vermutlich weil er fürchtet, daß große Entwicklungslinien aus dem Gedränge der historischen Erscheinungen immer nur mit einer gewissen Gewaltsamkeit herauszuarbeiten sind. Aber er hält sich ebenso weit entfernt von einer bloß referierenden Wiedergabe, durch die manche schlechte Historiker einen Ersatz für die Lektüre der Originale bieten zu können meinen. Er strebt vielmehr, das Ideal der reinen Objektivität der Darstellung dadurch zu erreichen, daß er sich bei jedem behandelten Denker in die Einzelprobleme vertieft, dessen Gedanken nachdenkend entwickelt und dabei ihre Beziehungen, Abhängigkeiten und Gegensätzlichkeiten nach allen Seiten aufzeigt. Wir bleiben stets bei konkreten Fragen und spüren doch die Weite des Blicks, mit dem der Verfasser die Zusammenhänge überschaut, und die Höhe seiner Gesichtspunkte, die nicht einseitige „Standpunkte“ sind. Er hat die Quellen mit großer Gewissenhaftigkeit durchforscht, seine Darstellung ist ungemein sicher und fließend. So entstand ein Buch, das den Leser zwar nicht durch geistvolle und überraschende Wendungen ergötzt, ihm aber eine Fülle sicheren Wissens und wertvoller philosophiegeschichtlicher Erkenntnis in gediegener und brauchbarer Fassung zugänglich macht. Die in das Buch hineingesteckte gewaltige Arbeit ist sicherlich nicht umsonst aufgewendet.

M. Schlick, Kiel.

**Reichenbach, Hans, Relativitätstheorie und Erkenntnis a priori.** Berlin, Julius Springer, 1920. 110 S. Preis M. 14,—.

Das vorliegende Buch (dessen Besprechung sich aus zufälligen äußeren Gründen arg verspätet) ist die erste einer Reihe von Arbeiten, in denen der Verfasser sich mit hervorragendem Erfolge um die philosophische Auswertung der Relativitätstheorie bemüht. Seine Methode ist die der logischen Analyse: er deckt durch ungemein scharfsinnige Zergliederung die einzelnen Prinzipien und Behauptungen auf, die in der Relativitätstheorie enthalten sind oder in dem wissenschaftlichen Verfahren vorausgesetzt werden, das zur Aufstellung und Begründung der Theorie führt. Jedem physikalischen Lehrgebäude liegen irgendwelche Prinzipien zugrunde, die nicht aus der Erfahrung abgeleitet, sondern in einem bestimmten Sinne willkürlich sind. Reichenbach nennt sie mit dem Ausdruck Kants Grundsätze *a priori*, weil sie mit dessen „synthetischen Urteilen *a priori*“ dies gemeinsam haben, daß sie logisch vor der Erfahrung sind, wissenschaftliche Erfahrung erst aufbauen helfen; er spricht ihnen aber mit Recht die Merkmale der strengen Notwendigkeit und gänzlichen Unabhängigkeit von der Erfahrung ab, die ihnen nach Kant wesentlich zukommen sollten. Es wäre daher vielleicht zweckmäßiger und historisch gerechter gewesen, sie nicht mit Kant als Sätze *a priori*,

sondern mit *Poincaré* als *Konventionen* zu bezeichnen, denn *Poincaré* hat vor allen den logischen Ort solcher Prinzipien mit tiefdringender Einsicht bestimmt. Aber es kommt natürlich im Grunde nicht auf die Benennung an, sondern nur auf die richtige Würdigung jener Grundsätze, ihrer erkenntnistheoretischen Tragweite und ihres Verhältnisses zueinander; und hier hat *Reichenbach* Bedeutendes und Bleibendes geleistet. Er erzielt eine Reihe sicherer und sehr bemerkenswerter Resultate, und nur an ganz wenigen Stellen erscheinen einige Formulierungen der Verbesserung und Präzisierung bedürftig. Die Logik der exakten Wissenschaft wird durch diese Schrift um ein gutes Stück vorwärts gebracht, und ich stehe nicht an, zu erklären, daß wir hier nicht nur die selbständigste und ertragreichste Untersuchung vor uns haben, die bisher von philosophischer Seite der Relativitätstheorie gewidmet ist, sondern auch eine allgemein-naturphilosophische Leistung allerersten Ranges.

M. Schlick, Kiel.

**Jaspers, Karl, Psychologie der Weltanschauungen**  
Berlin, Julius Springer, 1919. XII, 428 S.

Das Werk des Heidelberger Philosophen, dessen Erscheinen in zweiter Auflage nun schon bevorsteht<sup>1)</sup>, läßt sich in gewisser Hinsicht am kürzesten charakterisieren, wenn man es als ein modernes Gegenstück zu Hegels „Phänomenologie des Geistes“ bezeichnet. Der Vergleich drängt sich auf, weil beide Werke durch Gegenstand, Anlage und Kühnheit des Entwurfs verwandt erscheinen, obwohl sie in Methode und Ergebnissen weit auseinanderstreben. Denn *Jaspers* spricht nicht als Metaphysiker, ja, er will nicht einmal als Philosoph sprechen, weil er den Namen Philosophie (wenn er „den edlen, mächtigen Klang behalten soll“) derjenigen Art von Weltbetrachtung vorbehalten möchte, die sich nicht nur objektiv-uninteressiert erkennend verhält, sondern zugleich wertend, gestaltend und bewegend in die Welt eingreift. Er nennt diese weltanschauungsgebende Philosophie, die für ihn die allein echte ist, auch die „prophetische“. Eine solche Begriffsbestimmung (die wohl nur den wenigsten zweckmäßig erscheinen wird) stellt die Philosophie jedenfalls in Gegensatz zur Wissenschaft, die ja ihrem Wesen nach den Standpunkt der bloßen Betrachtung einnimmt, den auch *Jaspers* in dem Buche nicht verlassen will. Es ist ein Werk der *verstehenden Psychologie*. „Die Weltanschauungspsychologie ist ein Abschreiten der Grenzen unseres Seelenlebens, soweit es unserem Verstehen zugänglich ist.“ Verstehen bedeutet ein Nacherleben, Einfühlen, Hineindenken in die seelischen Zustände, aus denen Weltanschauungen entspringen und in denen sie sich darstellen; und diese komplexen Zustände werden nach der objektiven und nach der subjektiven Seite beschrieben und zergliedert. So entsteht eine deskriptive Analyse der „Weltbilder“, der „Geistestypen“ und der „Einstellungen“. *Jaspers* handhabt die verstehende Methode mit größter Virtuosität; wahrhaft erstaunlich ist die Kraft und Beweglichkeit der Einfühlung, die ihm bei der Durchmusterung der feinsten Falten des Seelenlebens zu Gebote steht. Eine gewisse Vorliebe für das Verborgene, Düstere und Verschwommene ist dabei unverkennbar: immer wieder wendet sich die Betrachtung dem „Mystischen“ und „Dämonischen“ zu, es wird nicht minder bei Goethe und Kierkegaard aufgesucht als in der Kasuistik der Psychopathologie. Immer neue Möglichkeiten innerlichsten Erlebens in den Höhen und

Tiefen menschlichen Daseins ziehen an uns vorüber; es ist ein Zaubergarten, durch den *Jaspers* uns führt. Freilich wird er vielen auch als ein Irrgarten erscheinen, besonders solchen, die nach festen und konkreten wissenschaftlichen Ergebnissen dieses gewaltigen Aufgebots von Geist und Wissen suchen: das Buch enthält keine wissenschaftliche Psychologie in dem Sinne, in dem die Leser der „Naturwissenschaften“ das Wort zu verstehen geneigt sein werden. Es spricht im Grunde auch nicht die Sprache einer solchen Psychologie, sondern seine Ausdrucksmittel sind Bilder, Gleichnisse, Metaphern, die ja in der Tat die einzige Möglichkeit bieten, den Leser zum Nacherleben fremder Erlebnisse anzuregen. So gibt das Werk eine reiche Fülle zergliedernder Beschreibung, es verzichtet auf Synthesen und gegenseitige Zurückführung, auf das Herausstellen allgemeiner Gesetzmäßigkeiten und damit auf eigentliche Erklärung. Es bietet vielmehr nur Material und Ansätze dazu. Wer jedoch nicht mit der Erwartung zu dem Buche greift, neue und wissenschaftliche *Erkenntnis* zu gewinnen, sondern einen Blick tun will in die tiefen Gründe, aus denen Weltanschauungen unerschöpflich quellen, der wird in *Jaspers* den rechten Führer finden und stärkste Eindrücke davontragen.

M. Schlick, Kiel.

## Botanische Mitteilungen.

### Über das Resultantengesetz beim Haptotropismus.

In früheren Versuchen konnte gezeigt werden, daß Gramineenkeimlinge, die gleichzeitig auf 2 Flanken einen Kontaktreiz von bestimmter Stärke empfangen, sich in einer Ebene krümmen, die durch die physikalische Resultante eindeutig bestimmt ist. Die Gültigkeit dieses auch bei anderen Tropismen nachgewiesenen Gesetzes hat sich auf dem Gebiete des Haptotropismus (Berührungsempfindlichkeit) für die verschiedensten Objekte bestätigt — auch in Fällen, bei denen 3 oder 4 Flanken mit gleicher oder verschiedener Dosis gereizt wurden. Nun lassen sich leicht Verhältnisse denken, bei denen eine Einstellung in die physikalische Resultante nicht mehr erfolgt, nämlich dann, wenn das gereizte Organ nicht auf allen Flanken gleich sensibel oder gleich reaktionsfähig ist. Diese besonderen Fälle sind der Gegenstand einer neuen Untersuchung (*Peter Stark*, Jahrb. f. wiss. Bot. 61, 1922). Abweichungen der geschilderten Art ergeben sich schon bei manchen Gramineenkeimlingen, und zwar bezeichnenderweise gerade bei den Typen, deren Querschnitt sich am stärksten von der Kreisform entfernt. Reizt man hier Schmalseite und Breitseite gleich stark, dann tritt eine deutliche Verschiebung der Krümmungsebene zugunsten der Breitseite ein — bei *Avena orientalis* 90°! —, begreiflicherweise, denn ein Organ mit elliptischem Querschnitt wird sich leichter in der Ebene des kürzeren als des längeren Durchmessers biegen. Verstärkt wird dieses Verhalten bei den Gramineen noch dadurch, daß die beiden Schmalseiten durch ein Gefäßbündel versteift sind. Noch auffälliger liegen die Dinge bei den stark berührungsempfindlichen Blattstielen der Waldreben- (*Clematis*-) Arten. Es handelt sich hier um ausgeprägt dorsiventrale Organe, die auf den 3 Hauptflanken (Ober-, Unter- und Seitenflanke) sehr verschieden reagieren. Bei rein einseitiger Reizung ergibt sich für die meisten Arten (*C. vitalba*-Typus; von den anderen Typen sei hier abgesehen) ein sehr starkes Übergewicht der Seitenflanken, daran schließt sich die Unterseite an, und

<sup>1)</sup> Kürzlich erschienen. XII, 486 S. Preis geh. M. 294,—; geb. M. 436,—.



den geringsten Effekt erhält man auf der Oberseite. Damit stimmen auch sehr schön die Daten überein, die man erhält, wenn man rein statistisch am Standort im Freien feststellt, wieviele Blattstiele tatsächlich nach oben, nach unten und nach der Seite gegriffen haben. Für *Clematis vitalba* erhält man die Werte 9 % : 35 % : 56 %. Auf Grund dieser Erfahrungen läßt sich das Verhalten der Blattstiele bei gleichzeitiger und gleichstarker Reizung zweier Flanken schon voraussehen. Bei Reizung Oberseite : Flanke und Unterseite : Flanke muß eine Bevorzugung der Flankenreizung eintreten, die, entsprechend dem geringeren Erfolg oberseitiger im Vergleich zu unterseitiger Reizung, im ersten Fall größer sein muß als im zweiten; die Krümmungsebene darf nicht in 45° (Winkelhalbierende) liegen, sondern der Winkel muß — von der Seitenflanke aus gerechnet — kleiner sein. Tatsächlich ergeben sich für die erste Serie Beträge von ca. 25°, für die zweite solche von ca. 35°. Auffällig war das Verhalten bei gleich starker oberseitiger und unterseitiger Reizung; es traten nämlich — obwohl sich die beiden opponierten Reize rein physikalisch genommen aufheben müßten — stets sehr ausgeprägte Reaktionen im Sinne der Unterseite zutage. In all diesen Fällen geben uns die Abweichungen der „physiologischen“ von der „physikalischen“ Resultante ein sehr schönes Mittel an die Hand, um uns quantitative Vorstellungen über die Staffelung des Reaktions- bzw. Empfindungsvermögens in den verschiedenen Flankenrichtungen zu verschaffen. Denn einmal kann man aus dem Grad der Abweichung berechnen, in welchem Verhältnis die Reizdosen stehen müßten, damit der theoretische Betrag, der dem Parallelogramm der Kräfte entspricht, erreicht würde. Ferner kann man die Reizdosen gegeneinander staffeln und das empirische Verhältnis bestimmen, bei dem Gleichgewicht herrscht. Als solches wurde beispielsweise für *Clematis vitalba* in der Serie Oberseite : Flanke 50 : 18, für *Clematis Duke of Edinburgh* in der Serie Oberseite : Unterseite sogar 50 : 5 gefunden.

**Erdwurzeln mit Velamen.** Die Luftwurzeln zahlreicher epiphytischer Orchideen und Araceen weisen ein sogenanntes Velamen (Wurzelhülle) auf, ein Gewebe, das sich entwicklungsgeschichtlich von der Oberhaut herleitet. Es besteht aus toten, im trockenen Zustand mit Luft gefüllten Zellen, die imstande sind, Wasser und gelöste Substanzen in großer Menge aufzusaugen und vermittelt bestimmter Durchlaßzellen durch die verkorkte Exodermis hindurch nach dem Wurzelinnern weiterzugeben. Vielfach ist die Meinung verbreitet, daß es sich hier um eine Anpassungserscheinung handelt, die erst sekundär im Zusammenhang mit der epiphytischen Lebensweise gewonnen worden wäre. In der Literatur freilich werden mehrfach Fälle erwähnt, wo auch erdbewohnende Orchideen ein Velamen tragen; ja ein solches tritt sogar bei einer großen Anzahl typischer Erdbewohner aus den Familien der Liliaceen und Amaryllidaceen auf. *Goebel* führt in einer zusammenfassenden Übersicht (Flora, N. F. 15, 1922) 24 derartige Arten an. Morphologisch stimmen diese Velamina weitgehend mit jenen der Orchideen und Araceen überein; desgleichen besteht in funktioneller Hinsicht vollständiger Parallelismus, wie durch besondere Versuche über die Aufnahme von Salz und Wasser nachgewiesen wird. Durch Kultur in Wasser oder Nährsalzlösung (gute Versorgungsbedingungen!) kann die Velamenbildung unterdrückt werden. Ein weiteres beachtenswertes experimentelles

Ergebnis ist, daß *Clivia nobilis* (Amaryllidaceen) — offenbar infolge des Besitzes eines Velamens — künstlich als Epiphyt gezogen werden kann. *Goebel* gelangt zu der Auffassung, daß das Velamen keine sekundäre Anpassungserscheinung der Epiphyten darstellt, sondern daß der bei manchen Arten ursprünglich vorhandene Besitz eines solchen sie besonders befähigt hat, zu epiphytischer Lebensweise überzugehen.

**Über Ruheorgane bei Wasserpflanzen und Lebermoosen.** Zahlreiche Wasserpflanzen und Lebermoose besitzen das Vermögen, zum Zwecke der Überwinterung besondere Ruheorgane zu bilden, die beim Wiedereintritt günstiger Bedingungen in der nächsten Saison zu normalen Pflanzen auskeimen. Mit den Entstehungsbedingungen dieser Ruheorgane beschäftigt sich eine Arbeit von *Margarete Ringel-Süßenguth*. Es ergab sich, daß sich sowohl bei den Wasserpflanzen (*Hydrocharis*, *Myriophyllum*, *Utricularia*) wie auch bei den Lebermoosen (*Fegatella*, *Pellia*) die Bildung der Ruheorgane schon im Sommer erzwingen läßt durch verschiedenartige Faktoren: Nährsalzmangel, Wassermangel, niedere Temperatur, schroffen Temperaturwechsel und Lichtmangel. Auf der anderen Seite kann man durch günstige Lebensbedingungen die Entstehung der Ruheorgane hinausschieben. Ferner ist es möglich, durch bestimmte Eingriffe den Ruhezustand abzukürzen, das heißt, die Ruheorgane vorzeitig zum Austreiben zu veranlassen. Es wurden hier dieselben Methoden angewandt, die auch in der gärtnerischen Kultur zum Frühreiben beschritten werden. Erfolglos war die Ätherbehandlung, dagegen führte Warmwasserbad und Cyankalibad (nach dem Vorgange von *Weber*) sehr gut zum Ziel. Wie Cyankali so wirkte auch Aluminiumsulfat, das ebenfalls die Permeabilität verstärkt, desgleichen — in manchen Fällen wenigstens — die Zufuhr von Nährlösung. Ferner konnte die Ruheperiode abgekürzt werden durch Verletzungen und durch mechanische Lockerung der Knospenhülle. Insgesamt betrachtet kommt *M. Ringel-Süßenguth* zu dem Ergebnis, daß zwischen den äußeren Faktoren und dem Eintritt und der Dauer der Ruheperiode der innigste Zusammenhang besteht und daß der Ruhezustand kein autonomer, innerlich bedingter Vorgang ist. Das ist also dasselbe Resultat, zu dem auch *Klebs*, von anderer Seite ausgehend, gelangt ist.

**Ist das Hangen der Blüten eine Schutzeinrichtung?** Mit dieser Frage beschäftigt sich eine Arbeit von *M. Hallermeier* (Flora, N. F. 15, 1922). *Kerner* hat bekanntlich die Anschauung geäußert, daß das Hängen vieler Blüten den Blütenstaub vor der Benetzung durch den Regen schützen soll; tatsächlich platzt der Pollen zahlreicher Pflanzen, wenn er mit Wasser in Berührung kommt. Nun gibt es aber eine ganze Menge von Pflanzen, deren Staubbeutel sich nicht in geschützter Lage befinden (auch in regenreichen Gebieten!). Deshalb erweiterte *Lidforß* die Kerner'sche Hypothese nach der Richtung, daß das Hangen der Blüten nur dort eintritt, wo der Pollen tatsächlich gegen Nässeigkeit empfindlich ist. Darnach müßte also ein Parallelismus zwischen Pollenempfindlichkeit und hängender Blütenlage bestehen. *Hallermeier* hat diese Verhältnisse bei einer großen Anzahl von Pflanzenfamilien untersucht und gelangt zu einer ablehnenden Stellung. So ist bei vielen Liliaceen und bei den Oxalidaceen der Pollen exponiert, aber empfindlich; innerhalb der Gattung *Campanula* gibt es Arten mit hängenden und mit aufrechten



Blüten, der Pollen ist aber bei beiden Typen gleich empfindlich. Bei den Primulaceen gibt es Formen mit sehr empfindlichen Pollen, das sind aber gerade die aufrechtblühenden (*Primula sinensis*, *floribunda* usw.). Bei *Berberis* und *Corydalis* ist zwar hängende Blütenlage und Empfindlichkeit des Blütenstaubs miteinander verknüpft, es zeigte sich aber, daß der Regenschutz hier tatsächlich unvollkommen ist, und daß die Blüten trotz ihrer abwärtsgerichteten Exposition durchnäßt werden. Dies sind nur ein paar herausgegriffene Beispiele. Die Lidforssche Theorie entbehrt daher der Erfahrungsgrundlage. Schon vor Kerner hat nun Sprengel einen anderen Gedanken über die Bedeutung der hängenden Blütenlage geäußert. Sie soll den Nektar vor der Verwässerung schützen und außerdem die günstigste Stellung für die Bestäubungsvermittlung der in Frage kommenden Insekten bilden. Auch diese Annahme wurde experimentell analysiert. Es zeigte sich erstens, daß auch der „verwässerte“ Nektar von Insekten aufgesucht wird und daß Insekten sehr rasch auf künstlich aufgerichtete Blüten umdresiert werden können. Sie passen sich in ihren Bewegungen schnell an die neugeschaffenen Verhältnisse an. Also auch hier ein negatives Ergebnis. Aus all diesen Beobachtungen zieht Hallermeier den Schluß, daß es sich bei dem Hängen der Blüten um eine primär vorhandene Eigenschaft handelt, die allerdings in bestimmten Fällen eine Schutzwirkung nach sich ziehen und so sekundär für das Verbreitungsareal einer Pflanze von Bedeutung sein kann. Es ist auch verständlich, wenn man Pflanzen mit empfindlichem Pollen vorherrschend in trockenen Klimaten antrifft.

**Subfossile Eibenreste in Schleswig-Holstein.** Die Eibe (*Taxus baccata*) tritt gegenwärtig in Norddeutschland nur ganz sporadisch auf; es werden vereinzelte Standorte in Ostpreußen und Westpreußen angegeben, ferner ist ein Fundpunkt in Hannover bekannt; dagegen fehlt sie in Posen, in der Mark Brandenburg, in Schleswig-Holstein und in der Rheinprovinz; daß sie ehemals weiter verbreitet war und sich gegenwärtig offenbar in einem Rückgangsprozeß befindet, das beweisen zahlreiche subfossile Vorkommnisse in Mooren. Auf diesem Wege ist das ehemalige Vorhandensein der Eibe in Posen und Hannover nachgewiesen worden. Daß die Eibe auch in Schleswig-Holstein heimisch war, wurde durch zwei Tatsachen nahegelegt: sie tritt auf dänischem Gebiet in der Nähe der deutschen Grenze auf, und ferner wurden auf den dänischen Inseln in größerem Umfang vorgeschichtliche Geräte aus Eibenholz gefunden. Nun ist es neuerdings Conwentz tatsächlich geglückt, zwei ehemalige Eibenhörste in Schleswig-Holstein, und zwar in einem Moor bei Christiansholm, westlich von Rendsburg, nachzuweisen (Ber. d. D. Bot. Ges. 39, 1921). Es handelt sich um ansehnliche Stämme von 6–12 m Länge und bis zu 2,5 m Umfang, die 25 bis 40 cm tief im Torf eingebettet und mit Eichenstämmen vergesellschaftet sind. Das Aussterben erfolgte allem Anschein nach erst in geschichtlicher Zeit. Erwähnt sei noch, daß die Eibe ein häufiger Bestandteil interglacialer Floren ist und daß sie in der Postglacialzeit besonders in der etwas wärmer temperierten Eichenperiode auftritt, so daß ihr Rückgang wohl klimatische Ursachen hat.

**Zur experimentellen Erzeugung eingeschlechtiger Maispflanzen.** Mit dem Einfluß der Ernährungsverhältnisse auf den Geschlechtscharakter der Maispflanze beschäftigt sich eine Arbeit von E. Werth (Ber. d. D. Bot. Ges. 40, 1922). Während die Pflanze normaler-

weise stets männliche und weibliche Blütenstände entwickelt, kann durch ungünstige Kulturbedingungen — Dichtsaat in einem Blumentopfe — erreicht werden, daß ein großer Teil der Individuen — bis zu 70 % — sich zu reinen Weibchen ausbildet. Mitunter ist die Umbildung nicht vollständig, so daß etwa der sonst rein männliche Endblütenstand gemischten (androgynen) Charakter trägt. Ungünstige Ernährungsverhältnisse befördern also die Produktion weiblicher Blütenorgane. Auf diese Weise wird auch die verschiedenartige Ausdifferenzierung der Blütenstände in den einzelnen Regionen der Maispflanze verständlich. Wie schon erwähnt, ist der Endblütenstand des Hauptstammes typischerweise männlich; die Blütenstände der Seitenäste können verschiedenen Charakter tragen, d. h. rein männlich, rein weiblich oder androgyn sein. Rein männlich sind zumeist die Infloreszenzen der basalen, kräftigen Seitenäste, während die oberen in der Regel weibliche Ausbildung erfahren; dazwischen inserierte Nebenachsen verhalten sich oft intermediär. Berechnet man nun die mittlere Länge a) vom Hauptsproß, b) von Seitensprossen mit männlichen, c) von solchen mit androgynen und d) von solchen mit weiblichen Blütenständen, so findet man die Reihe 171,5 cm : 157,1 cm : 112,7 cm : 42,5 cm. Je kräftiger also die Achse ausgebildet wird oder je besser der Nahrungszustrom ist, desto mehr wird das Gleichgewicht nach der Richtung der männlichen Blütenorgane verschoben.

**Biologische Studien über die Utriculariablase.** Die Fangblasen des Wasserschlauchs (*Utricularia*) sind schon der Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen. Im allgemeinen ist die Ansicht verbreitet, daß der Tierfang rein passiv erfolgt, und zwar derart, daß die Tiere die sich nur nach innen öffnende Klappe passieren und bei dem Versuch, zurückzukehren, auf unüberwindlichen Widerstand stoßen. Im Anschluß an etwas abweichende Beobachtungen von Brocher hat Merl die Frage erneut aufgegriffen (Flora, N. F. 15, 1922) und gelangt zu dem Ergebnis, daß die Blasen aktiv bei dem Fang beteiligt sind. Es zeigte sich nämlich, daß auf den Berührungszreiz hin nicht nur die Klappe ihre Form in bestimmter Weise ändert, sondern daß die gesamte Blase sich gewissermaßen aufbläht und einen viel gewölbteren Umfang annimmt. Auf diese Weise wird erreicht, daß das Wasser der Umgebung infolge der Vergrößerung des Blasen-volumens gewaltsam eingesogen wird. So wird verständlich, daß auch Gegenstände ohne oder mit nur geringer Eigenbewegung (Desmidiaceen, Diatomeen usw.) in das Innere aufgenommen werden. Die Pumpbewegung kann bei wiederholter Reizung mehrfach stattfinden, kürzestens nach einem Intervall von 15 Minuten. Besonders drastisch gelangt das „Schlucken“ zum Ausdruck, wenn man mit einer Pipette Farblösungen aufsaugen läßt. Auf welchen Ursachen der Saugmechanismus beruht, konnte nicht einwandfrei ermittelt werden. Möglicherweise handelt es sich um seimonastische Reaktionen wie bei der ebenfalls fleischfressenden *Dionaea*. Dafür kann die Tatsache ins Feld geführt werden, daß sich an der Klappe Borstenhaare befinden, die ganz ähnlich gebaut sind wie die Fühlborsten der *Dionaea*. Tatsächlich genügt schon ein leises Berühren der Borstenhaare, um die charakteristischen Formänderungen auszulösen. Auffällig ist nur, daß die Schluckbewegung auch bei Anwendung starker Narkotika, die auf *Dionaea* hemmend einwirken, noch ungestört stattfindet.



**Versuche über die Vererbung der Augenfarbe beim Menschen.** In einer statistischen Untersuchung, die sich auf 1400 Kinder erstreckt, beschäftigt sich *O. Winge* mit der Vererbung der Augenfarbe beim Menschen (*Comptes rendus d. Trav. d. Labor. Carlsb.* 14, 1921). Im allgemeinen erweist sich — das ist eine bekannte Tatsache — Blau als rezessiv gegen Braun. Danach müßten aber blauäugige Eltern stets Kinder mit derselben Augenfarbe erhalten. Dies ist auch die Regel; es treten aber vereinzelte Ausnahmen auf, die darauf hindeuten, daß mindestens einer der blauäugigen Eltern einen Braunfaktor aufweisen muß. Daß er trotzdem als blauäugig erscheint, erklärt *Winge* derart, daß hier gleichzeitig noch ein Hemmungsfaktor vorhanden ist, der die Wirkung des Braunfaktors aufhebt. In der  $F_1$ -Generation können sich nun der Braunfaktor und der Hemmungsfaktor trennen: es resultieren braunäugige Individuen. Eine weitere auffällige Beobachtungstatsache ist die, daß Braun im weiblichen Geschlecht häufiger auftritt als im männlichen. *Winge* sucht dieser Erscheinung in folgender Weise gerecht zu werden: es sind zwei dominante Faktoren für Braun vorhanden, von denen der eine in den gewöhnlichen Chromosomen liegt und normal mendelt, während der andere in das Geschlechtschromosom verlegt wird und geschlechtsbegrenzt übertragen werden soll. Tatsächlich ergibt die Statistik *Winges* eine gute Übereinstimmung zwischen Theorie und Erfahrung.

Stark.

## Astronomische Mitteilungen.

Eine Arbeit von *A. Ångström* (*Astrophys. Journ.* 55, S. 24—29, 1922; Heft 1) beschäftigt sich mit der Beziehung zwischen der **Solarkonstanten**, den **Sonnenflecken** und der **Sonnentätigkeit**. *Ångström* findet, unter Benutzung der Messungen von *Abbot*, daß sich die Abhängigkeit des jährlichen Mittels der Solarkonstanten  $S$  vom jährlichen Mittel der Anzahl  $N$  der Sonnenflecken ziemlich befriedigend durch folgende Gleichung darstellen läßt:

$$S = 1,903 + 0,011 \sqrt{N} - 0,0006 N.$$

Die Solarkonstante hat demnach ein Maximum bei einer Fleckenzahl von rund 100 im Jahr.

Die Strahlungsintensität der Sonnenflecken beträgt nur 20 bis 50 % derjenigen der übrigen Teile der Sonnenoberfläche. Doch sind sie von Bezirken besonders lebhafter Sonnentätigkeit umgeben, welche vermutlich bei kleiner Fleckenzahl den Ausfall an Strahlung durch die Flecken selbst überkompensieren. *Ångström* hält es für wahrscheinlich, daß die Größe dieser Bezirke nicht in gleichem Maße wächst, wie die Zahl der Flecken, so daß bei großer Fleckenzahl der Strahlungsausfall durch die Flecken relativ schwerer ins Gewicht fällt.

Wäre es ohne weiteres zulässig, aus den heutigen Beobachtungen auf weit zurückliegende Epochen zu schließen, so dürfte man auf Grund dieses Befundes nicht annehmen, daß in früheren Zeiten gelegentliche Perioden besonders starker Sonnentätigkeit Klimaschwankungen auf der Erde im Sinne erheblicher Erwärmung hervorgerufen haben. Vielmehr würden 1000 Flecken im Jahre gemäß obiger Gleichung die Solarkonstante auf etwa 1,66 herabdrücken.

*Granquists* Einwand, die Abnahme der Solarkonstanten bei großer Fleckenzahl hänge mit Änderungen

in der Durchlässigkeit der Atmosphäre zusammen, wird vom Verfasser aus verschiedenen Gründen abgelehnt.

**Die Ionisation der Elemente in der Sonnenatmosphäre und in den Sonnenflecken.** Wie bereits in meinem Referat über den Jahresbericht des Mount-Wilson-Observatoriums für 1921 (*Naturwissenschaften* 10, 1922) kurz erwähnt, hat *H. N. Russel* einige wichtige Erweiterungen der Theorie der Sternatmosphären von *Saha* (s. den Bericht *Naturwissenschaften* 9, 863, 1921) gegeben. Ausführlichere Mitteilungen darüber sind nunmehr im *Astrophysical Journal* (55, S. 119, und 354, 1922) erschienen.

Während bei *Saha* den Berechnungen des Ionisationsgrades eines Elements die vereinfachende Annahme zugrunde lag, daß dieses Element allein vorhanden sei, berücksichtigt *Russel* die Wirkung des gleichzeitigen Vorhandenseins mehrerer Elemente. Er kommt dabei zu einigen wichtigen Resultaten. Besonders einleuchtend ist der Satz, daß in einem Gemisch von Elementen die leichter ionisierbaren Elemente relativ stärker, die schwerer ionisierbaren Elemente dagegen schwächer ionisiert sind, als wenn jedes von ihnen allein im Raume vorhanden wäre. Daß dies so sein muß, erkennt man ohne weiteres aus der Überlegung, daß die schwer ionisierbaren Elemente den leichter ionisierbaren die freien Elektronen sozusagen wegschnappen müssen. *Russel* leitet ferner die be-

merkwürdige Beziehung ab, daß die Größen  $\frac{x}{1-x}$  ( $x$  = Ionisationsgrad) der verschiedenen Komponenten einer Mischung von Elementen in Verhältnissen zueinander stehen, welche für je zwei Elemente nur von der Differenz ihrer Ionisationsspannungen und der absoluten Temperatur, aber nicht von dem Mischungsverhältnis abhängen. Er zeigt ferner, daß von einem Element praktisch nie mehr als zwei Ionisationsstufen gleichzeitig vorhanden sein können, so daß also bei merklichem Auftreten doppelter Ionisation die neutralen Atome des Elements schon so gut wie völlig verschwunden sind.

Die Arbeiten enthalten weiter eine eingehendere Darstellung der neueren, zur Prüfung der Sahaschen Theorie angestellten Untersuchungen des Sonnenspektrums durch den Verfasser. Die Übereinstimmung zwischen Theorie und Befund, wie sie sich insbesondere durch Vergleich des Spektrums der Sonnenflecken mit der übrigen Sonnenoberfläche ergibt, ist durchweg eine sehr gute, wie dies bezüglich der Alkalien hier bereits mitgeteilt worden ist (*Naturwissenschaften* 10, 240, 1922). Wegen der zahlreichen interessantesten Einzelheiten muß auf das Original verwiesen werden, das auch wertvolles tabellarisches Material enthält.

Bei den bisherigen theoretischen Untersuchungen ist nur die Erregung von Atomen durch Temperatur berücksichtigt worden. In der zweiten der oben genannten Arbeiten wird auch die Erregung durch Strahlung mit in Betracht gezogen. Es gelingt auf diese Weise, einige bisher noch vorhandene Unstimmigkeiten zu beseitigen.

Diese Untersuchungen geben den Anschauungen von *Saha* eine sehr bedeutsame Stütze.

W. Westphal.

**Die relative Häufigkeit der Spektralklassen.** Der Statistik der Fixsterne wird, soweit sie den Spektraltypus der Sterne berücksichtigt, durch den neuen *Henry Draper-Katalog* der Harvard-Sternwarte ein sehr umfangreiches und vollständiges Fundament ge-

geben. Der neue Katalog enthält etwa 225 000 Sterne; bis zur Größe  $8^m,25$  auf der nördlichen und bis  $8^m,75$  auf der südlichen Halbkugel dürfte er alle Sterne enthalten. Von diesen 225 000 Sternen sind nur wenige hundert den selteneren Spektralklassen *P, O, R, N, Md* zugesprochen worden, während alle anderen, d. h. mehr als 99 %, in die normale Folge *B, A, F, G, K, M* eingereiht werden konnten. Die Verteilung der Sterne auf die verschiedenen Spektralklassen ist damit endgültig festgestellt<sup>1)</sup>, während die Lücken des bisher zur Verfügung stehenden Materials Zweifel an manchen Eigentümlichkeiten offen ließen. Am deutlichsten läßt sich die Verteilung übersehen, wenn man in jedem Helligkeitsintervall ( $\frac{1}{2}$  Größenklasse) die Zahl der Sterne jedes Typus in Prozenten der Gesamtzahl der Sterne in diesem Intervall ausdrückt. In der folgenden Tabelle sind die Spektralklassen zu Gruppen zusammengefaßt:

|          |        |                                |
|----------|--------|--------------------------------|
| <i>B</i> | umfaßt | <i>B 0, B 1, B 2, B 3, B 5</i> |
| <i>A</i> | „      | <i>B 8, B 9, A 0, A 2, A 3</i> |
| <i>F</i> | „      | <i>A 5, F 0, F 2</i>           |
| <i>G</i> | „      | <i>F 5, F 8, G 0</i>           |
| <i>K</i> | „      | <i>G 5, K 0, K 2</i>           |
| <i>M</i> | „      | <i>K 5, Ma, Mb, Mc</i>         |

| Spektrum     | Helligkeitsintervalle               |   |   |   |   |   |   |  |                  |                                     |
|--------------|-------------------------------------|---|---|---|---|---|---|--|------------------|-------------------------------------|
|              | heller<br>als<br>6 <sup>m</sup> ,25 | 6 <sup>m</sup> ,26<br>bis<br>6 <sup>m</sup> ,75 | 6 <sup>m</sup> ,76<br>bis<br>7 <sup>m</sup> ,25 | 7 <sup>m</sup> ,26<br>bis<br>7 <sup>m</sup> ,75 | 7 <sup>m</sup> ,76<br>bis<br>8 <sup>m</sup> ,25 | 8 <sup>m</sup> ,26<br>bis<br>8 <sup>m</sup> ,75 | 8 <sup>m</sup> ,76<br>bis<br>9 <sup>m</sup> ,25 | schwächer<br>als<br>9 <sup>m</sup> ,25 | alle<br>Helligk. | heller<br>als<br>8 <sup>m</sup> ,75 |
| B .....      | 10,9                                | 5,7   | 3,7   | 2,6   | 1,7   | 1,2   | 1,0   | 0,7                                    | 1,6              | 2,5                                 |
| A .....      | 30,5                                | 31,6  | 29,6  | 26,9  | 24,9  | 26,0  | 27,2  | 32,7                                   | 28,9             | 26,7                                |
| F .....      | 10,4                                | 11,3  | 11,6  | 11,5  | 11,0  | 10,7  | 9,2   | 7,7                                    | 9,5              | 11,0                                |
| G .....      | 9,9                                 | 11,4  | 15,5  | 15,0  | 16,8  | 19,2  | 22,3  | 25,5                                   | 20,9             | 16,7                                |
| K .....      | 30,1                                | 32,7  | 32,4  | 35,6  | 38,2  | 35,5  | 23,6  | 29,2                                   | 32,9             | 35,4                                |
| M .....      | 8,1                                 | 7,3   | 7,0   | 8,5   | 7,4   | 7,3   | 6,7   | 4,2                                    | 6,2              | 7,6                                 |
| B, A, F .... | 51,8                                | 48,6  | 45,1  | 41,0  | 37,6  | 33,0  | 37,4  | 41,2                                   | 40,0             | 40,3                                |
| G, K, M ...  | 48,2                                | 51,4  | 51,9  | 59,0  | 62,4  | 62,0  | 62,6  | 58,8                                   | 60,0             | 59,7                                |

Es ist sehr lehrreich, die Tabelle graphisch aufzutragen, indem man auf einer Abszissenachse die Gruppen *B, A, F* usw. als Strecken von 1 cm Länge abteilt und über jeder Teilstrecke ein Rechteck mit der zugehörigen Prozentzahl als Höhe errichtet.

Man sieht sofort, daß durch alle Helligkeitsintervalle hindurch die Gruppen *A* und *K* die größte Zahl der Sterne umfassen. *F* und *M* sind bei allen Helligkeiten in nahezu gleichem Maße beteiligt. Eine ganz auffällige Erscheinung ist die starke Zunahme der *G*-Sterne, wenn man zu schwächeren Sternen übergeht. Unverkennbar ist auch die bekannte Eigenheit der *B*-Sterne, die unter den schwachen Sternen nur noch einen verschwindenden Bruchteil ausmachen.

**Absolute Helligkeit und Spektraltypus (Russell-Diagramm).** Die vor allem durch *Hertzsprung* und *Russell* aufgedeckten Zusammenhänge zwischen dem Spektraltypus und der absoluten Helligkeit der Sterne haben eine so weitreichende Bedeutung für unsere Anschauungen über die Konstitution und die Entwicklung der Fixsterne gewonnen und an so wichtigen

Stellen entscheidende Anwendung gefunden, daß ihre Sicherung und Ergänzung genau so wichtig ist wie z. B. die Prüfung der *Shapleyschen* Entfernungsskala. Die wesentlichen Züge des *Russell-Diagramms* können so angegeben werden: Die Spektralklasse wird als Abszisse, die absolute Helligkeit als Ordinate aufgetragen. Die obere Grenze der absoluten Helligkeit ist für alle Spektralklassen ungefähr gleich, sie steigt von *M* nach *B* nur langsam um etwa 1—2 Größenklassen an. Die untere Grenze jedoch fällt von *B* bis *M* sehr schnell ab. Sie liegt bei *B* etwa 4, bei *M* etwa 10 Größenklassen unter der oberen Grenze. In den Klassen *B* bis *G* finden sich zwischen diesen Grenzen Sterne jeder Helligkeit, in *K* und *M* klafft eine Lücke zwischen den hellen und den schwachen Sternen (Riesen und Zwerge).

Es scheint, daß dieses Bild nicht ganz den Tatsachen entspricht. Durch eine neue Verarbeitung der Helligkeiten und Farben der Sterne mit größerer Eigenbewegung kommt *Hertzsprung*<sup>1)</sup> zu dem Resultat, daß die obere Grenze des Diagramms nicht so einfach verläuft. Es besteht eine Hauptserie, die sich als Band von vier Größenklassen Breite in der Richtung der unteren Grenze durch alle Typen erstreckt. Erst im Typus *K* finden sich wieder Sterne, deren Hellig-

keit denen der *A*- und *B*-Sterne entspricht. Zwischen den *B*- und *A*-Riesen einerseits und den *K*-Riesen andererseits liegt eine Kluft. Dasselbe Bild erhält *Lundmark*<sup>2)</sup> durch eine Zusammenfassung der besten Werte aus wandernden Sternhaufen unter Ausschluß aller zweifelhaften Mitglieder. Die Übereinstimmung der beiden gänzlich voneinander unabhängigen Bilder ist so vollkommen, daß an der isolierten Stellung der *K*-Riesen kaum zu zweifeln ist. Auch bei offenen Sternhaufen trifft man auf dieselbe Form des Diagramms.

Diese Lücke in der Riesenreihe wird an einigen Stellen zur Revision unserer Ansichten zwingen. Aus *Eddingtons* Theorie läßt sie sich nicht erklären. Nach dieser Theorie ist die Gesamtstrahlung eines Riesensterns nur von der Masse abhängig, also konstant, solange er sich im idealen Gaszustande befindet. Vermutlich wird gerade dieser Widerspruch der Erfahrung den Weg zur richtigen Erweiterung der *Eddingtonschen* Theorie weisen.

Kruse.

<sup>1)</sup> Remark on the relation between colour, proper motion and apparent magnitudes of the stars. Bulletin of the Astron. Inst. of the Netherlands Nr. 17.

<sup>2)</sup> The parallax of the Coma Berenices cluster. Lick Bulletin Nr. 338.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 40. (Seite 879—894)

6. Oktober 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Über den Segelflug. Von *C. Runge*, Göttingen. S. 879.

Aufbereitung und wirtschaftliche Verwendung der Kohlen, insbesondere der Braunkohlen. (Mit 5 Abbildungen.) Von *K. Kegel*, Freiberg i. S. (Schluß.) S. 882.

### Besprechungen:

Oltmanns, Friedrich, Das Pflanzenleben des Schwarzwaldes. Von *K. Touton*, Wiesbaden. S. 888.

Kolkwitz, R., Pflanzenphysiologie. Von *P. Stark*, Freiburg i. Br. S. 890.

Kolkwitz, R., Pflanzenforschung. Von *P. Stark*, Freiburg i. Br. S. 890.

Mitteilungen aus verschiedenen biologischen Gebieten. S. 891—894.

Über den Einfluß des Schwerereizes auf das Wachstum der Koleoptile von *Avena sativa*. Die elektrohygienische Wertung des Betons. Studien über die Funktionen der Hefezelle, Zymase- und Karboxylasewirkung. Archiv für Rassen- und Gesellschaftsbiologie. Studies on a drained marsh soil unproductive for peas. Ist *Taxodium distichum* oder *Sequoia sempervirens* Charakterbaum der deutschen Braunkohle? Beiträge zur Kenntnis der Wirkung des Saponins auf die pflanzliche Zelle. The Evolution and Distribution of Race, Culture and Language. Volkszunahme und Nahrungszunahme.



## GOERZ TENAX- PLATTEN

*Sauberer Guß. Weiter  
Belichtungsspielraum.  
Gleichmäßiges Fabrikat.  
Größte Haltbarkeit.  
Hohe Empfindlichkeit.  
Vorzügliche Abstufung.*

Erhältlich in den Photohandlungen

Fabrikanten: GOERZ PHOTOCHEMISCHE WERKE, G. m. b. H., STEGLITZ

GENERAL-VERTRIEB:

Optische Anstalt **C. P. GOERZ** Aktiengesellschaft  
**BERLIN-FRIEDENAU 45**

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 250.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Hefes beträgt M. 25.—.

Sollte die im Druck- und Papiergewerbe auch weiterhin fortschreitende Teuerung, deren Ende heute noch nicht abzusehen ist, eine abermalige Erhöhung des Bezugspreises innerhalb des 4. Quartals 1922 notwendig machen, so muß sich der Verlag schon heute eine entsprechende Nachberechnung vorbehalten.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 36.— die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6. 13. 26. 52 maliger Wiederholung  
5. 10. 20. 80% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/2

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbus

Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.

Postcheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20220 Julius Springer,

Konten für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Jul

Springer.

### Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

J. D. Möller, Wedel in Holstein.

Gegründet 1864.

(294)

### Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu Kaufen gesucht. Angebote unter Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

## Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

### Der Flug der Tiere.

Von Dr. F. Zscholke, Professor der Zoologie an der Universität Basel. (IV, 110 S.) 1919. Preis M. 228.—

Das Buch will einer mit biologischen Fragen sich beschäftigenden Leserschaft Aufschluß geben über das Vorkommen der fliegenden Lebensweise im Tierreich, über ihren Ursprung, ihre Erscheinung und ihren Erfolg und besonders über die Bedeutung des Flugs für die Stellung des mit Flügeln ausgerüsteten Geschöpfs im Naturganzen.

### Fluglehre.

Vorträge über Theorie und Berechnung der Flugzeuge in elementarer Darstellung.

Von Dr. Richard von Mises, Professor der Universität Berlin. Zweite, durchgesehene Auflage. Mit 113 Textabbildungen. (VIII, 210 S.) 1922. Preis M. 300.—

#### Inhaltsübersicht:

Einleitung. Geschichtlicher Überblick. — I. Allgemeines über Luftkräfte, Luftwiderstand. — II. Die Tragfläche. — III. Die Luftschaube. — IV. Der Motor. — V. Zusammenwirken von Tragfläche, Luftschaube und Motor. — VI. Über Steuerung, Stabilität und Stabilisierung. — VII. Abflug, Landung, Navigation. Bücherübersicht. Register.

### Flugzeugstatik.

Von Dipl.-Ing. Aloys van Gries. Mit 207 Textfiguren. (XII, 380 S.) 1921. Preis M. 900.—

Preisänderung infolge Markentwertung vorbehalten

Zu beziehen durch jede Buchhandlung



## Über den Segelflug<sup>1)</sup>.

Von C. Runge, Göttingen.

Die Sehnsucht und der Traum der Menschen, fliegen zu können, hat sich in unserer Zeit erfüllt. Zu des Geistes Flügeln hat sich der körperliche Flügel gesellt, früher als *Goethe* es geahnt hat, und mit dem Fliegen zugleich ist auch das technische Verständnis des Luftwiderstandes gekommen. Der einst so rätselhafte Vogelflug wird jetzt im großen ganzen verstanden. Wir wissen, daß der Vogel unter günstigen Umständen dem Winde Energie abnimmt, und wir wissen auch einigermaßen, wie er das macht, und die Segelflüge in der Röhn haben gezeigt, daß man den Vogel schon mit einigem Erfolge nachzuahmen gelernt hat.

Es gibt zwei Arten, den Wind beim Fliegen Arbeit leisten zu lassen. Die eine Art ist mechanisch sehr einfach zu verstehen, während die andere Art eine etwas tiefere Einsicht voraussetzt. Wenn ein Vogel im Gleitflug in stiller Luft abwärts schwebt, sagen wir mit einer Geschwindigkeit von 10 m in der Sekunde, horizontal gemessen, und in jeder Sekunde sich um einen Meter herabsenkt, so würde er in einem senkrecht nach oben gerichteten Luftstrom von einem Meter in der Sekunde in gleicher Höhe gehalten werden und könnte seinen Flug unbegrenzt fortsetzen, ohne dabei einen Flügelschlag zu tun. Es spielt dabei keine Rolle, daß der Wind im allgemeinen auch eine horizontale Bewegung hat. Die würde sich einfach noch über die Bewegung von Luft und Vogel überlagern, wenn nur die senkrechte Komponente des Windes dieselbe bleibt. Relativ zum Boden kann dann seine Geschwindigkeit größer oder kleiner als die des Windes, ja sogar rückwärts, d. h. in der Richtung Kopf zum Schwanz, gerichtet sein, wenn er gegen den Wind, aber langsamer als der Wind fliegt.

Solche senkrechten Windkomponenten kommen nun in der Natur nicht selten vor und werden von den Vögeln in der mannigfaltigsten Weise ausgenutzt. Jedes Hindernis, das sich einem horizontalen Winde entgegenstellt, ein Haus, ein Wald, ein Abhang zwingt den Wind, der dagegen bläst, nach oben auszuweichen. Wie die Vögel das zu benutzen verstehen, sieht man wohl am reinsten an dem Flug der Möwen, die auf dem Meere einen Dampfer begleiten. Relativ zum Dampfer hat man da fast immer eine sehr kräftige Windströmung. Denn selbst bei Windstille strömt die Luft relativ zu einem 20 Knoten fah-

renden Dampfer mit einer Geschwindigkeit von mehr als 10 m in der Sekunde. Dieser Wind wird nun, wo er den Dampfer und die Aufbauten auf dem Dampferdeck trifft, nach oben abgelenkt. Auf der Brücke eines Schnelldampfers stehend habe ich oft meine Hand über die Segeltuchwand gestreckt, durch die sich die Offiziere gegen das Blasen schützen. Der ganze Arm wurde manchmal durch den Wind getragen. Die Luft wird durch ihre Trägheit, wenn sie die Oberkante der Segeltuchwand erreicht, über die Köpfe der Offiziere weggeführt, so daß die Wand nur etwa Brusthöhe zu haben braucht, um den dahinter Stehenden vollständig zu schützen. In diesen aufsteigenden Strömen hängen nun die Möwen oder heben und senken sich durch stärkeres oder geringeres Ausbreiten der Flügel oder bewegen sich in jeder beliebigen Richtung, ohne einen Flügelschlag zu tun.

An einer steilen felsigen Meeresküste, auf die der Wind steht, kann man die Seevögel sich von der Wasseroberfläche aus bis über den Rand des Abhangs hinaufschrauben sehen. Sie gleiten dabei relativ zur Luft hinab. Da aber die Luft schneller an Höhe gewinnt, als sie in stiller Luft verlieren würden, so werden sie gehoben. Statt zu kreisen, können sie auch in beliebiger gerader Richtung in der Nähe des Abhangs gleiten. Sie müssen aber immer relativ zur Luft noch eine hinreichende horizontale Geschwindigkeit haben. Sonst müßte der Wind wesentlich stärker sein, um ihnen den nötigen Auftrieb zu geben.

Aufsteigende Luftströme können auch von ungleicher Erwärmung des Bodens herrühren. Wenn die Sonnenstrahlen ein ungleich bewachsenes Gelände bestrahlen, so erwärmen sich z. B. kahle Gebiete viel stärker als bewachsene, die die Lichtstrahlen in andere Formen von Energie überführen, oder gar als Wasserflächen, die sie stark reflektieren. Die Luft über den heißeren Teilen erfährt dadurch gegenüber den andern einen Auftrieb. In Cuba habe ich in der heißen Sonne die Hühnergeier diese Luftbewegungen ausnutzen sehen. Mit wunderbarer Geschicklichkeit segelten sie über und zwischen den Büschen herum mit so scharfen Wendungen, daß nicht selten die Ebene ihrer beiden Flügel senkrecht stand.

Aufsteigende Luftströme sind überhaupt in größeren Höhen viel häufiger als man früher annahm. Ja man könnte sagen, da alle Luftbewegung ursprünglich durch Temperaturunterschiede entsteht, so sind die vertikalen Strömungen das Primäre. Erst infolge der größeren Aus-

<sup>1)</sup> Vortrag, gehalten auf der Wasserkuppe bei dem Röhn-Segelflug-Wettbewerb im August 1922.

dehnung der Atmosphäre in horizontaler Richtung werden aus diesen Bewegungen auch horizontale Winde. In ihnen ist dann schließlich die größere Energiemenge aufgespeichert. Daß man früher an die vertikale Luftbewegung nicht dachte, liegt vielleicht daran, daß wir auf dem Boden des Luftmeeres leben, wo der Wind gezwungen ist, sich an der Begrenzungsfläche entlang zu bewegen. Übrigens hat man von jeher die frische Brise, die am Tage vom Meere her, und den Landwind, der in der Nacht auf das Meer hinausströmt, richtig durch die aufsteigenden Luftströme erklärt, die durch die größere Erwärmung des Landes am Tage und die höhere Temperatur des Meeres gegenüber dem sich in der Nacht rasch abkühlenden Lande erzeugt werden.

Von den Geiern in den Gegenden der Wüste Sahara berichtet *Brehm*, daß sie immer erst einige Stunden nach Sonnenaufgang auszufliegen pflegen. Sie warten, wie es scheint, erst ab, bis die Sonne die aufsteigenden Luftströme hervorgerufen hat.

Die andere Methode, dem Wind Energie abzunehmen, ist von *Lanchester* dynamischer Segelflug genannt. Es werden dabei die Ungleichheiten des Windes nach Richtung oder auch nach Stärke benutzt, und zwar die Ungleichheiten von Ort zu Ort oder von einem Augenblick zum andern. Ein vollkommen gleichmäßiger horizontaler Wind kann auf keine Weise einem in ihm schwebenden Vogel Energie liefern. Er unterscheidet sich darin nicht von völliger Windstille. Um das einzusehen, denke man sich den gleichmäßigen horizontalen Wind z. B. über dem Meere und ein Schiff, das genau in der Richtung und mit der Geschwindigkeit des Windes fährt, so daß es die Luftbewegung nicht stört. Dann macht es für die Höhe des Vogels doch gar keinen Unterschied, ob wir seine Bewegung relativ zu dem Schiff oder relativ zum Wasser betrachten. Relativ zum Schiff haben wir aber völlige Windstille. Ist dagegen der Wind zwar horizontal, aber ungleichmäßig, so verhält sich die Sache anders. Wir wollen uns wieder ein Schiff denken, das sich nun mit der mittleren Windgeschwindigkeit bewegt, und wollen die Bewegung des Vogels relativ zum Schiff betrachten. Die mittlere Geschwindigkeit ist die Geschwindigkeit des Schwerpunktes der betrachteten Luftmenge, die nach einem bekannten Satze der Mechanik konstant ist. Für den Schwerpunkt ist der Vogel eigentlich mitzurechnen, aber da seine Masse gegen die Luftmasse sehr klein ist, so ändert das an der Geschwindigkeit des Schwerpunktes so gut wie nichts. Relativ zum Schiff haben wir dann die mittlere Windgeschwindigkeit Null, während die Ungleichmäßigkeit sich in Luftbewegungen relativ zum Schiff zeigt, die von Ort zu Ort oder von Augenblick zu Augenblick sich ändern. Jede Bewegung des Vogels nun, die diese Ungleichmäßigkeit der Luftbewegung vermindert, vermindert damit ihre

Energie, und die der Luftbewegung abgenommene Energie geht auf den Vogel über, der daraus einen Auftrieb gewinnen kann.

Je nach der Art der Ungleichmäßigkeit des Windes sind auch die Methoden verschieden, die Ungleichmäßigkeit zu vermindern und dadurch dem Winde Energie abzunehmen. Wir wollen einige einfache Beispiele genauer besprechen.

Wir denken uns zwei Luftschichten, die durch eine horizontale Ebene voneinander getrennt sind und sich mit verschiedenen horizontalen Geschwindigkeiten bewegen. Der Vogel soll so dicht an der Grenzfläche fliegend angenommen werden, daß wir ihn ohne wesentliche Arbeitszuführung oder -abgabe als unter oder über der Grenzfläche annehmen können. Die mittlere Windgeschwindigkeit können wir, wie eben gezeigt, unbeschadet unserer Schlußfolgerungen als Null voraussetzen, so daß also die beiden Luftschichten sich mit entgegengesetzten Geschwindigkeiten bewegen. Jetzt lassen wir den Vogel die folgenden Bewegungen ausführen: Er fliegt dicht unter der Begrenzungsfläche in der Richtung der unteren Luftbewegung und taucht nun durch die Begrenzungsfläche in den oberen Wind, so daß er jetzt relativ zu dem oberen Wind eine höhere Geschwindigkeit hat als vorher zu dem unteren. Darauf kehrt er, immer in dem oberen Wind fliegend, um und taucht wieder in die untere Schicht. Dabei wächst wieder seine relative Geschwindigkeit. Abermals kehrt er in der unteren Schicht um und taucht, sobald er die Richtung des unteren Windes gewonnen hat, wieder in die obere Schicht auf und so weiter. Bei jedem Übergang in die andere Schicht steigt seine Geschwindigkeit relativ zu der Schicht, in die er hineinfliegt, um die gleiche Größe. Jedesmal wächst damit auch seine Bewegungsenergie. Diese Energie hat er dem Winde abgenommen. Jedesmal, wenn er in einer der Schichten seine Richtung um 180 Grad ändert, um die Richtung der Schichtbewegung anzunehmen, hat er, indem er seine Geschwindigkeit vermehrt, die der Luft, gegen die er drückt, vermindert.

Bei der Frage, ob ein Vogel auf diese Weise segeln kann, kommt es natürlich darauf an, wie groß der Betrag der gewonnenen Energie ist. Er muß mindestens so groß sein, um die Energie zu ersetzen, die der Vogel beim Gleitflug in stiller Luft in derselben Zeit verliert. D. h. bei einem Gleitwinkel von 1:10 z. B. gleich dem zehnten Teil seines Gewichtes mal dem horizontal in der betreffenden Zeit zurückgelegten Wege. Man kann danach die Geschwindigkeit berechnen, mit der sich die beiden Luftschichten gegeneinander bewegen müssen, um das Segeln eines Vogels zu ermöglichen. Die Geschwindigkeit ergibt sich genähert gleich dem Gleitwinkel mal der Erdbeschleunigung mal der halben Zeit, in der der Vogel einen Zyklus von einer Schicht zur andern und zurück vollzieht. Beträgt die Zeit eines Zyklus z. B. 4 Sekunden, und der Gleitwinkel



1 : 10, so braucht die Geschwindigkeit der beiden Schichten zueinander nur etwa 2 m/sec zu sein.

Eine ganz ähnliche Überlegung kann angestellt werden für den Fall, daß die beiden Schichten durch eine mittlere Schicht voneinander getrennt sind, in der der Wind allmählich von der einen Geschwindigkeit zur andern übergeht. Der Vogel müßte in der Richtung der untersten Schicht zur obersten hinauf dort umkehren und in der Richtung der obersten Schicht zur untersten hinunterfliegen.

Dies scheint nach den Berichten von guten Beobachtern eine der Methoden des Albatros zu sein. Auf dem Wasser sitzend braucht er nur seine Flügel zu erheben, damit ihn der Wind aus dem Wasser hebt, und ohne Flügelschlag steigt er nun, den Kopf gegen den Wind gekehrt, etwa sechs Meter hoch, um dann umzukehren und in der Richtung des Windes bis nahe an die Wasseroberfläche hinabzugleiten. Jetzt hat er eine bedeutend größere Geschwindigkeit als der Wind und kann abermals umkehrend den Prozeß wiederholen. Den Überschuß an Geschwindigkeit oder an Steighöhe, den er dabei erreicht, kann er natürlich auch zu irgendwelchen Segelflügen in beliebiger Richtung verwenden, ehe er durch den beschriebenen Prozeß sich neue Energie verschafft. Die Energie, die der Vogel in der Zeiteinheit gewinnt, ist natürlich um so größer, je schneller er die Zyklen wiederholt. In der Tat wird nun beobachtet, daß der Albatros, wenn er einem *gegen* den Wind fahrenden Schiff folgt, wenn er also mehr Energie in der Zeiteinheit braucht, die Zyklen schneller aufeinander folgen läßt, als wenn das Schiff mit dem Winde fährt. Das Aufsteigen aus dem Wasser kann mit dem Aufsteigen eines Drachens verglichen werden, bei dem das Wasser die Rolle des Strickes spielt, und ähnlich kann man auch das Aufsteigen durch die Schichten des mit der Höhe anwachsenden Windes ansehen. Die untere Luft hält den Vogel vermöge seiner Trägheit relativ zur oberen immer ein wenig fest.

In größeren Höhen über dem Erdboden kann man häufig zwei verschiedene Luftströmungen wahrnehmen, wenn man den Flug der Wolken verfolgt. Ich halte es durchaus für möglich, daß ein Segelflugzeug diese Bewegung als Energiequelle von Zeit zu Zeit benutzend weite horizontale Flüge ausführt.

Noch ein anderes für den Segelflug wichtiges Beispiel möge betrachtet werden. Wir wollen uns einen Wind denken, der abwechselnd mit größerer und geringerer Intensität bläst. Es kommt wieder auf dasselbe hinaus, wenn wir die mittlere Geschwindigkeit gleich Null annehmen und also den Wind eine Zeitlang in einer Richtung und dann ebenso lange in der entgegengesetzten Richtung blasen lassen. Die eine Richtung entspricht dann einer Böe, die andere der Flaute, wobei es aber ganz gleichgültig ist, welche Richtung wir als die Böe betrachten. Die eine Möglichkeit besteht

nun darin, daß der Vogel gegen die Böe anfliegend in ihr umkehrt und sie überholt. Relativ zu der einsetzenden Flaute hat er dann eine höhere Geschwindigkeit. Abermals umkehrend erlangt er bei der nächsten Böe wieder eine erhöhte Geschwindigkeit usw. Die erhöhte Geschwindigkeit kann er natürlich auch in Steighöhe umsetzen. Eine andere Möglichkeit ist diese. Der Vogel soll die folgende Bewegung ausführen: Er fliegt immer in der gleichen Richtung abwechselnd mit der Luftbewegung und gegen die Luftbewegung. Solange er mit der Luftbewegung fliegt, soll er abwärts gleiten. Sowie die entgegengesetzte Strömung einsetzt, soll er aufsteigen. Nehmen wir des Argumentes wegen zunächst an, sein Gleitwinkel sei so klein, daß die in windstiller Luft beim Fliegen aufzuwendende Energie keine Rolle spielt. Gesetzt nun, er fängt sein Gleiten in der Richtung der Luftbewegung mit der Geschwindigkeit Null relativ zur Luft an, so kriegt er nun die seiner Fallhöhe entsprechende Geschwindigkeit. Wenn die entgegengesetzte Luftströmung einsetzt, so erhält er damit einen Zuwachs zu seiner Geschwindigkeit relativ zur Luft, die ihm nun eine größere Steighöhe zurückgibt, bis seine Geschwindigkeit wieder relativ zur ersten Luftströmung Null geworden ist. Dann wiederholt sich das Spiel von neuem, bei dem er fortgesetzt höher und höher steigt. Man kann diesen Prozeß durch ein Modell nach Art einer russischen Rutschbahn nachmachen, auf der man eine Kugel laufen läßt. Während die Kugel auf der Wellenlinie hinabrollt, schiebt man die Bahn in Richtung der rollenden Kugel horizontal vorwärts, steigt sie dagegen die Wellenlinie hinan, so schiebt man die Bahn ihr entgegen. Auf diese Weise kann man die Kugel eine im Durchschnitt steigende Wellenlinie hinauflaufen lassen.

Der Vogel gewinnt also auf diese Weise Energie aus der Ungleichmäßigkeit des Windes, und wieder können wir ausrechnen, wie stark die Ungleichmäßigkeit sein muß, um den notwendigen Auftrieb zu liefern.

Erwägt man die Möglichkeit, mit einem Segelflugzeug das Segeln der Vögel nachzumachen, so darf man nicht vergessen, den Einfluß der Dimension zu berücksichtigen. Denken wir uns z. B. einen Vogel von der Größe etwa eines Storches, also etwa 4 kg schwer, der bei einem Gleitwinkel von 1 : 10 mit einer Geschwindigkeit von 10 m in der Sekunde in einem aufsteigenden Luftstrom von 1 m in der Sekunde horizontal dahinfliegt. Denken wir ihn uns nun in allen seinen Dimensionen auf das Dreifache vergrößert, so wird seine Fläche 9mal so groß, sein Gewicht aber 27mal so groß, also gleich 108 kg. Widerstand und Auftrieb wachsen, wenn die Geschwindigkeit unverändert bleibt, proportional der Fläche, d. h. bei gleicher Geschwindigkeit würde der Auftrieb, der vorher dem Gewicht gerade das Gleichgewicht hielt, jetzt nur gleich 36 kg, also nur gleich einem Drittel des erforderlichen Auftriebs sein.

Um den erforderlichen Auftrieb zu erhalten, muß demnach die Geschwindigkeit gesteigert werden, und zwar im Verhältnis  $\sqrt[3]{3}:1$ , da Auftrieb ebenso wie Widerstand dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional sind. Während also für den 4 kg schweren Vogel eine vertikale Komponente des Windes von 1 m/sec genügen würde, um ohne Höhenverlust zu segeln, so bedarf unser dreimal vergrößerter Vogel von 108 kg eine vertikale Komponente von  $\sqrt[3]{3}$  m/sec.

Es liegt also in der Natur der Sache, daß ein mit einem Menschen belastetes Flugzeug durchaus nicht in jedem Winde segeln kann, in dem ein 4 kg schwerer Vogel es ihm vormacht, sondern daß die vertikale Komponente für ihn etwa in diesem Verhältnis von  $\sqrt[3]{3}:1$  größer sein muß, wenn wir sein Gewicht mit Flugzeug etwa zu 108 kg ansetzen.

Wenn wir umgekehrt unsern Vogel auf ein Drittel seiner Dimensionen verkleinern, so daß sein Gewicht nur  $\frac{1}{27}$  kg beträgt, so müßte er schon bei einer im Verhältnis von  $1:\sqrt[3]{3}$  kleineren vertikalen Komponente segeln können. Die kleineren Vögel sind also gegenüber den größeren günstiger gestellt. Trotzdem segeln die kleineren Vögel mit wenigen Ausnahmen nicht. Und das kommt daher, daß sie eben durch ihre kleineren Dimensionen im Verhältnis zu ihrem Gewicht und bei der geringeren Geschwindigkeit, die ihnen schon den nötigen Auftrieb liefert, eine wesentlich größere Leistungsfähigkeit haben. Die Geschwindigkeit, die sie beim Segeln haben würden, ist ihnen nun bei dem Überschuß an Energie, den sie besitzen, zu klein; es kommt ihnen gar nicht darauf an, ihren Motor zu schonen, während die großen Vögel darin sparsamer sein müssen. Ich sage, die kleineren Vögel haben durch ihre Kleinheit im Verhältnis zu ihrem Gewicht größere Energie. Das ist so zu verstehen. Die Fähigkeit, Nahrung aufzunehmen, ist im wesentlichen gegeben durch die Größe der Wände des Magens und der Verdauungskanäle. Ein 3mal kleinerer Vogel nimmt daher unter übrigens gleichen Umständen, grob gesprochen,  $\frac{1}{9}$  der Nahrungsmenge eines größeren Vogels auf. Sein Gewicht aber ist  $\frac{1}{27}$ . Im Verhältnis zu seinem Gewicht nimmt er also dreimal so viel Nahrung auf. Das gilt auch von anderen Geschöpfen. Ein Säugling von 3 kg nimmt am Tage  $\frac{1}{2}$  kg Milch auf, das ist der sechste Teil seines Gewichts. Einem erwachsenen Menschen von  $3 \times 27 = 81$  kg würde eine Nahrungsmenge von  $13\frac{1}{2}$  kg schwer im Magen liegen. Ein Star frißt nach *Brehm* an einem Tage 150 fette Schnecken. Das ist ein erklecklicher Bruchteil seines Eigengewichtes. Einem größeren Vogel würde es unmöglich sein, den gleichen Bruchteil seines Eigengewichtes an einem Tage zu verzehren. Dabei ist die Energie, über die der größere Vogel in der gleichen Zeit verfügen müßte, um die entsprechenden Bewegungen auszuführen, nicht nur im Verhältnis der Gewichte

größer, sondern nochmal im Verhältnis der Geschwindigkeiten gesteigert.

Auch bei allen übrigen Methoden des Vogels, dem Winde Energie abzunehmen, gilt dieselbe Dimensionsüberlegung. Wenn die entsprechende Bewegung von einem größeren Vogel wiederholt werden soll, so müssen, wenn die linearen Dimensionen  $n$ mal, die Gewichte also  $n^3$ mal so groß sind, die Geschwindigkeiten im Verhältnis  $\sqrt[n]{n}$  gesteigert werden, und das muß auch von den Ungleichheiten des Windes gelten. Unter dieser Voraussetzung aber, daß man es mit entsprechend gesteigerten Windgeschwindigkeiten zu tun hat, ist kein Zweifel, daß sich der Segelflug der Vögel nachmachen läßt.

Wenn das gelungen sein wird, dann ist erst eigentlich das Luftmeer für den Menschen erobert. Die Fortschritte, die darin bei den Röhn-Wettflügen gemacht sind, berechtigen zu den schönsten Hoffnungen, mögen sie weiter blühen, wachsen und gedeihen!

### Aufbereitung und wirtschaftliche Verwendung der Kohlen, insbesondere der Braunkohlen.

Von K. Kegel, Freiberg i. Sa.

(Schluß.)

Entscheidend für die Aufbereitung und Verarbeitung der deutschen Braunkohlen ist in erster Linie der hohe Wassergehalt und die ungünstige physikalische Beschaffenheit derselben gewesen. Der Wassergehalt beträgt, wenn man von einigen kleinen, wirtschaftlich ziemlich belanglosen Vorkommen absieht, etwa zwischen 48—62 %. Chemische Zusammensetzung der brennbaren Substanz, Aschengehalt und Wassergehalt bedingen den Heizwert der Kohle, der durch Schwankungen des Wassergehaltes starken Veränderungen unterworfen ist. Diese Veränderungen des Heizwertes bei verschiedenem Wassergehalt erschweren bisher den Vergleich der einzelnen Kohlenarten. Ich habe deshalb, fußend auf der Erkenntnis, daß die durch Schwankungen des Wassergehaltes bewirkten Veränderungen des Heizwertes mathematisch dem Verlauf geneigter Linien folgen, den Begriff der Gütezah  $\omega$  eingeführt. Ich verstehe hierbei unter der Gütezahl die Tangentialfunktion der Neigung der Linie, längs welcher sich die Heizwerte einer bestimmten Kohlenart bei Veränderung des Heizwertes verschieben (Fig. 6).

Diese Linien erhält man, wenn man die Wassergehalte z. B. auf der Abszisse und die Heizwerte auf der Ordinate eines Koordinatensystems einträgt und die zusammengehörenden Punkte miteinander verbindet. Die Gütezahl erhält man aus dem unteren Heizwert und dem Wassergehalt einer Kohlenprobe nach der einfachen Gleichung:

$$\omega = \frac{h_x + 630}{100 - x}$$



$x$  = Wassergehalt der Kohle in %,

$h_x$  = unterer Heizwert in Wärmeeinheiten (WE),

$\omega$  = Neigungsverhältnis der strahlenförmig von dem Punkte mit den Koordinaten  $x=100$  und  $h_x=-630$  ausgehenden Heizwertlinien; Neigungsverhältnis = Gütezahl der Kohle,

630 = Verdampfungszahl des Wassers (genauer 637 WE).

Der durch die Gütezahl eindeutig gekennzeichnete Verlauf der Heizwertlinie einer bestimmten Kohle gestattet auf der graphischen Darstellung ohne weiteres die durch Änderung des Wassergehaltes bewirkte Veränderung des Heizwertes abzulesen.

Die Gütezahl bzw. die Neigung der Heizwertlinie ermöglicht eine einwandfreie ziffernmäßige Bewertung der Kohlen hinsichtlich des Heizwertes und schaltet alle Irrungen aus, die sonst ohne Kenntnis des Wassergehaltes der Kohle unvermeidlich sind. Je höher die Gütezahl bzw. je steiler die Heizwertlinie ist, um so hochwertiger ist die Kohle. Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Beschaffenheit der Kohlen habe ich dieselben in drei Güteklassen einteilen können, und zwar geringwertige Kohlen, falls  $\omega$  unter 60,7 (bei 60 % Wasser = 1800 WE), mittelmäßige Kohlen, falls  $\omega$  zwischen 60,7–65,7 (bei 60 % Wasser 1800–2000 WE.), gute bzw. sehr gute Kohlen, falls  $\omega$  über 65,7 (bei 60 % Wasser über 2000 WE.) beträgt.

Die nasse Aufbereitung der Rohbraunkohlen ist, wie bereits eingangs ausgeführt, wegen ihrer ungünstigen physikalischen Eigenschaften wirtschaftlich so gut wie unmöglich.

Bei der Naßpreßsteinherstellung wird der Wassergehalt nicht genügend erniedrigt, der Heizwert also nicht genügend erhöht. Die Frachtkosten wirken daher so ungünstig ein, daß das Absatzgebiet der Naßpreßsteine und damit die Entwicklungsfähigkeit dieser Fabrikation eine beschränkte blieb.

Die sonstigen ungünstigen physikalischen Eigenschaften der Rohbraunkohle, wie z. B.

1. der hohe Klarkohlenfall,
2. die Neigung der Stückkohlen, bei der Abtrocknung zu reißen und
3. die Neigung der Kohlen, bei längerer Lagerung vollständig zu zerfallen,

erschweren die Verwendung der Rohkohlen auf Planrosten erheblich und machten besondere Feuerungseinrichtungen, wie Treppenroste, Fränkelroste usw. erforderlich.

Der relativ hohe Aschengehalt verteuert den Betrieb der Kesselhäuser durch erhöhte Kosten für die Aschenabfuhr.

Das alles war der Verwendung der Rohbraunkohlen hinderlich.

Der Kuriosität halber sei noch erwähnt, daß der hohe Wassergehalt der Rohkohle bei sehr weitgehender Ausnutzung der in den Feuergasen enthaltenen Wärme *scheinbar hohe Wirkungsgrade* (evtl. über 100 %) ergeben kann, indem

bei zu starker Abkühlung der Heizgase der in ihnen enthaltene Wasserdampf kondensiert. Eisenteile werden hierbei durch gleichzeitig sich niederschlagende Schwefelsäuren korrodiert.

Den relativ niedrigen Gewinnungskosten ist es zu verdanken, daß die Rohkohle in der Nähe der Gewinnungsorte mit Vorteil verwandt werden konnte. Bei größerer Frachtdistanz werden jedoch die Frachtkosten zu hoch, weil das Wasser nicht nur unnütz mit versandt werden muß, sondern auch den Heizwert erheblich herabsetzt.

Unterer Heizwert  
in WE =  $h_x$

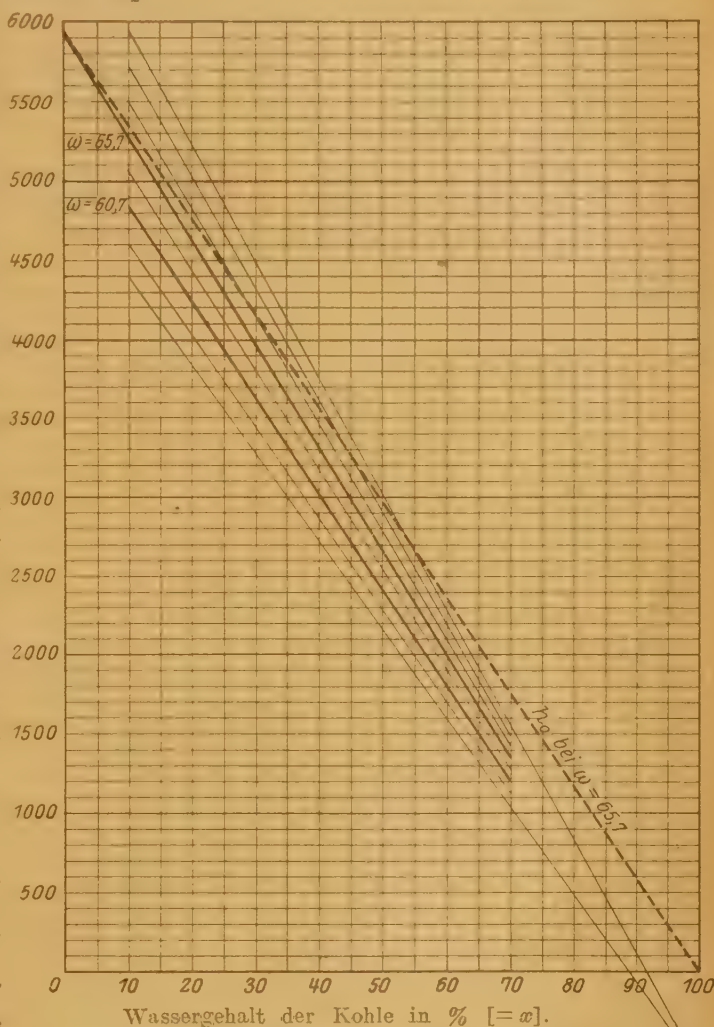


Fig. 6. Einfluß des Wassergehaltes der Braunkohlen auf ihren Heizwert.

Die je 1 Million in den Kohlen enthaltenen Wärmemengen in WE sind zerlegt in konstante Kosten, welche die Summe der Gewinnungskosten, Be- und Entladekosten, Heizerlöhne und sonstige am Gewinnungs- und am Verbrauchsort entstehenden festen Kosten  $\frac{G}{w}$  umfassen, und in die mit der Frachtdistanz zunehmenden Frachtkosten, deren Einheit je km hier als konstant mit dem Betrage  $\frac{K}{w}$  angenommen wurde. Die Frachtkosten wachsen mit der Entfernung

$E$  und betragen somit  $\frac{KE}{w}$ . Insgesamt betragen also die Kosten theoretisch  $\frac{G}{w} + \frac{KE}{w}$ . Infolge des Feuerungswirkungsgrades  $\eta$ , der je nach der Kohlsorte verschieden sein kann, betragen die Kosten tatsächlich  $\frac{G}{W\eta} + \frac{KE}{W\eta} = \frac{G+KE}{W\eta}$ . Der Betrag  $\frac{G}{W\eta}$  ist an den Koordinatenanfangspunkt abgetragen. Die Größe  $\frac{KE}{W\eta}$  ergibt bei veränderlichem Werte von  $E$  eine Tangentialfunktion, welche unmittelbar die Neigung einer Linie

anfangspunkte der Frachtdistanz entspricht, so geben die Schnittpunkte der Frachtkostenlinien die Entfernungen von den beiden Gewinnungspunkten der Kohlen an, bei welchen die Kosten für den Verbraucher gleich hoch sind. Über den Schnittpunkt hinaus kennzeichnet die jeweils tiefere Linie die für den Verbrauch hinsichtlich der Kosten günstigere Kohlsorte. Vorausgesetzt ist hierbei, daß beide Kohlsorten für den Verwendungszweck brauchbar sind, und nicht etwa der Zweck eine besondere Kohlsorte erfordert. Die hier in Fig. 7 angenommenen Frachtkosten entsprechen nicht den heutigen Sätzen.

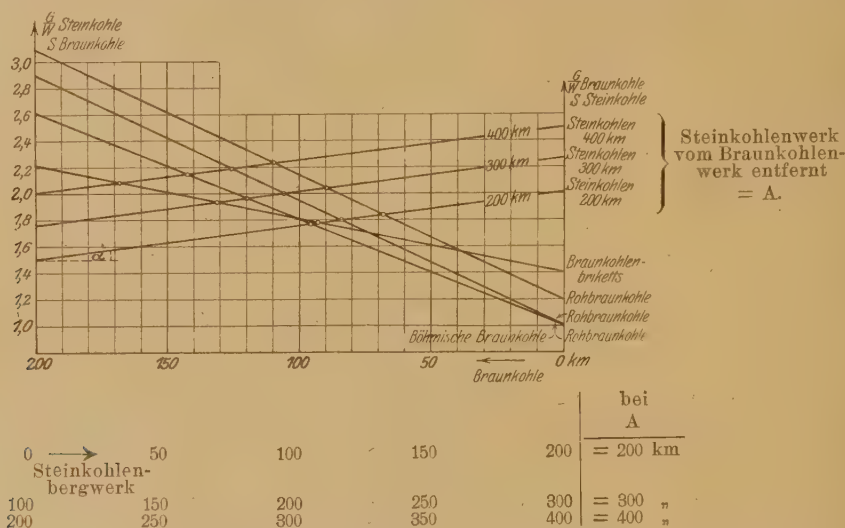


Fig. 7. Graphische Ermittlung der Entfernungsgrenze, bis zu welcher die Rohbraunkohlen oder die Steinkohlen wirtschaftlich billiger sind.

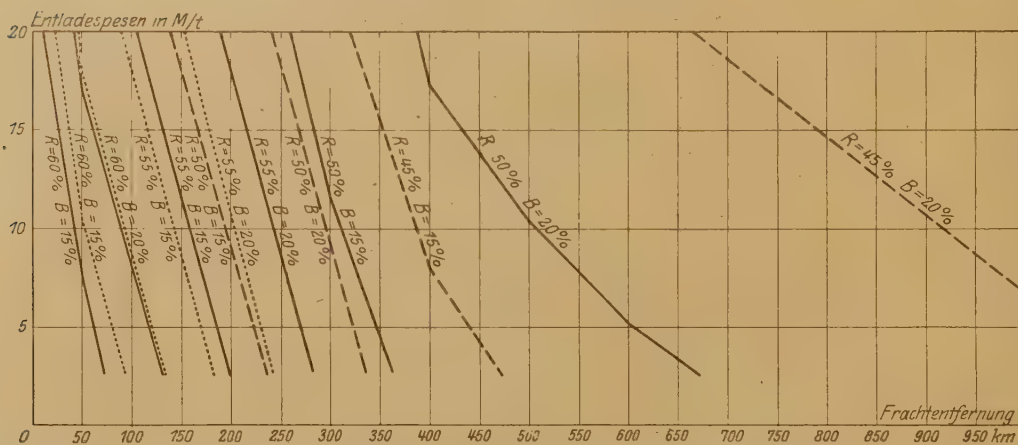


Fig. 8. Einfluß des Wassergehaltes der Rohbraunkohlen und Briketts auf die Begrenzung der Entfernung, bis zu welcher die Rohbraunkohlen wirtschaftlich billiger sind.

Es bedeutet z. B.  $R = 45\%$ ,  $B = 20\%$  Rohkohlen von  $45\%$  Wassergehalt und daraus hergestellte Briketts von  $20\%$  Wassergehalt.

bedeutet, die, bei  $E = 0$  mit dem Betrage  $\frac{W\eta}{G}$  beginnend, die Summe der je 1 Million WE der Kohlen erwachsenden Kosten für die einzelnen Entfernungen angibt.

Trägt man diese Linie auf zwei auf durchsichtigem Papier aufgetragenen Koordinatensystemen von gleichem Maßstab so ab, daß die Entfernung  $E$  bei dem einen von links nach rechts und bei dem anderen von rechts nach links fortschreitet, und legt man die beiden Darstellungen so aufeinander, daß die Achsen sich decken und die Entfernung der beiden Koordinaten-

Für den Reichskohlenrat habe ich vor einiger Zeit eine Rechnung durchgeführt zur Ermittlung der Frachtdistanzen, auf welche bei den im August 1921 beabsichtigten Eisenbahntarife die Braunkohlen und die Braunkohlenbriketts gleicher Herkunft wirtschaftlich einander gleichwertig wurden.

Die daraufhin von mir aufgestellte graphische Tabelle läßt den außerordentlichen Einfluß der Entladespesen einerseits und der Veränderung des Wassergehaltes der Briketts andererseits auf



die Paritätsentfernung erkennen (Fig. 8). Das gilt besonders für die allerdings nur wenig vorkommenden hochwertigen Rohkohlen von 45 % Wassergehalt und den daraus hergestellten Briketts mit 15 oder 20 % Wassergehalt.

Rohkohlen mit weniger als 52—55 % Wassergehalt sind vergleichsweise selten. Die Lausitzer und Rheinische Rohbraunkohle hat etwas über 55 %, z. T. sogar über 60 % Wassergehalt. Man kann danach den mittleren Absatzradius der Rohbraunkohlen gegenüber den Briketts auf etwa 150 km, für viele Kohlen sogar auf 50 km annehmen. Dabei darf nicht verkannt werden, daß die Eisenbahntarife nicht in dem Maße gestiegen sind wie die sonstigen Preise. Sollten die Tarife sich den sonstigen Preisen einmal wieder völlig anpassen, so würde der Absatzradius der Rohkohlen gegenüber den Briketts sich noch wesentlich verkürzen und etwa wieder auf die Grenzen zukommen, die sich für die Verhältnisse vor dem Kriege ergaben. Man rechnete damals mit einem mittleren Absatzradius der Rohbraunkohle von etwa 40—60 km.

Auf diesen wirtschaftlichen Zusammenhang ist es zurückzuführen, daß sich von allen nicht chemischen Veredelungsverfahren der Rohbraunkohle nur die Brikettierung zu einer wirtschaftlichen Bedeutung entwickelt hat.

Die Verarbeitung der Braunkohlen zu Briketts erfolgt in der Weise, daß die Rohkohle von einer Korngröße etwa 1—20 mm zunächst auf 12—18 % Wassergehalt getrocknet, und die Trockenkohle in besonderen Pressen mit offener Form, den Exterpressen, ohne Beimischung eines Bindemittels zu Briketts gepreßt wird. Gegenüber einem Heizwert der Rohkohlen von ~ 1800 bis 2000 WE/kg wird der Heizwert der Trockenkohle bzw. der Briketts durch die Entziehung des Wassers auf ~ 4500—5000 WE/kg erhöht. Darin beruht in Verbindung mit den Frachtkosten und mit den Bedienungskosten der Feuerungsanlagen die wirtschaftliche Überlegenheit der Briketts gegenüber den Rohkohlen. Fig. 9 gibt die Wassermengen an, welche je Kilogramm Trockenkohle zu verdampfen (trocknen) sind.

Die Trocknung erfolgte früher vielfach durch Feuergase. Wegen der erheblichen Explosionsgefahr der alten Feuertrockenapparate wurden diese schließlich bergpolizeilich verboten. Es wurden die Dampftrockenapparate allgemein eingeführt, die in zwei Typen zur Ausführung gelangten, den Teller-trocknern und den Röhren-trocknern.

Die zwangsweise Einführung der Dampftrockenapparate hat sich mit Hilfe der elektrischen Kraftübertragung für die gesamte Dampfwirtschaft der Braunkohlenbergwerke so segensreich erwiesen, daß eine Rückkehr zur Trocknung mit Feuergasen, selbst wenn diese bergpolizeilich zugelassen würde, ein schwerer technisch-wirtschaftlicher Rückschritt sein würde.

Der außerordentliche Vorteil der Dampftrocknung liegt darin, daß man den Dampf ohnehin für die Kraftzentralen erzeugen muß und den Abdampf somit für die Trocknung zur Verfügung hat.

Für die Dampfwirtschaft der Brikettfabriken ist nun folgendes zu beachten:

1. Je höher die Temperatur und die Spannung des Arbeitsdampfes (Kesseldampfes) und je niedriger der Gegendruck des in den Trockenapparaten verwendeten Abdampfes ist, um so mehr Arbeit läßt sich aus dem Dampf herausziehen, d. h. um so weniger Dampf ist je PS/Std. erforderlich oder um so mehr PS kann die Zentrale bei gegebener Abdampfmenge leisten.

2. Die Verdampfungsleistung je kg Abdampf ist innerhalb der in den Trockenapparaten üblichen Überdrücke von 0,5—4 at praktisch gleichbleibend, wohl aber steigt die Verdampfungsleistung je qm Heizfläche der Trockenapparate mit dem Dampfdruck.

Daraus ergibt sich, daß man zweckmäßig mit möglichst hohen Anfangs- und möglichst niedrigen Endspannungen des Dampfes arbeiten soll. Aus dieser Erkenntnis heraus steigert man namentlich bei Neuanlagen den Kesseldampfdruck immer mehr und geht jetzt schon über 25 at hinaus, während man den Gegendruck niedrig, meist unter 2 at, hält.

Nur da, wo man nicht genügend Verwendung für die erzielbaren Kräfte haben sollte, wird man unter Verzichtleistung auf einen entsprechenden Teil der sonst gewinnbaren Kräfte den Gegendruck höher wählen, weil man dadurch an Heizfläche der Trockenapparate, also an Anlagekosten entsprechend sparen kann.

Das Verhältnis der Leistung der Trockenapparate zum Trockendampfdruck und dem aus der Rohkohle zu entfernenden Wasser ist ein durchaus gesetzmäßiges, und ist von meinem damaligen Assistenten, Herrn Dipl.-Ing. *Hildebrand*, graphisch zur Darstellung gebracht worden.

Diese Untersuchung hat gezeigt, daß man zur Erzielung eines gleichmäßigen Briketts bei Schwankungen des Wassergehaltes der Rohkohlen mit niedrigen Trockendampfdrücken arbeiten soll.

Die Anforderungen des Trockenbetriebes decken sich also mit den Anforderungen einer günstigen Dampfwirtschaft in der glücklichsten Weise. Eine eingehende Begründung dieser graphischen Darstellung ist im Heft 3 des Braunkohlenarchivs erschienen.

Aus diesen Darlegungen ergibt sich, daß die gesamte Kraft- und Dampfwirtschaft einer Brikettfabrik in hohem Maße von dem Wassergehalt der Rohkohle und dem der zu erzeugenden Briketts abhängen. Die Fig. 10 gibt auf der linken Seite diesen Zusammenhang graphisch wieder, wobei für die Arbeitsmaschinen ein mittlerer Dampfverbrauch von etwa 12—15 kg je PSi/Std. und für das Kesselhaus ein Wirkungsgrad von etwa 65 % angenommen worden ist.

Die Kraftüberschüsse wachsen erheblich, wenn der spezifische Dampfverbrauch der Arbeitsmaschinen (Pressen, Zentrale) durch Anwendung moderner Typen, hoher Kesseldampfspannung und Überhitzung niedrig gehalten wird.

Der aus dieser Tafel ersichtliche hohe Selbstverbrauch an Rohkohle drängt die Frage auf, ob die Brikettierung vom volkswirtschaftlichen Standpunkte aus als Vorteil oder Nachteil auf-

Zur Erzeugung von 1 kg Trockenkohle (Brikettkohle) von 12–26 % Wassergehalt aus Rohkohle von 40–62 % Wassergehalt sind:

Zu verdampfen in g

An Rohkohle erforderlich in g

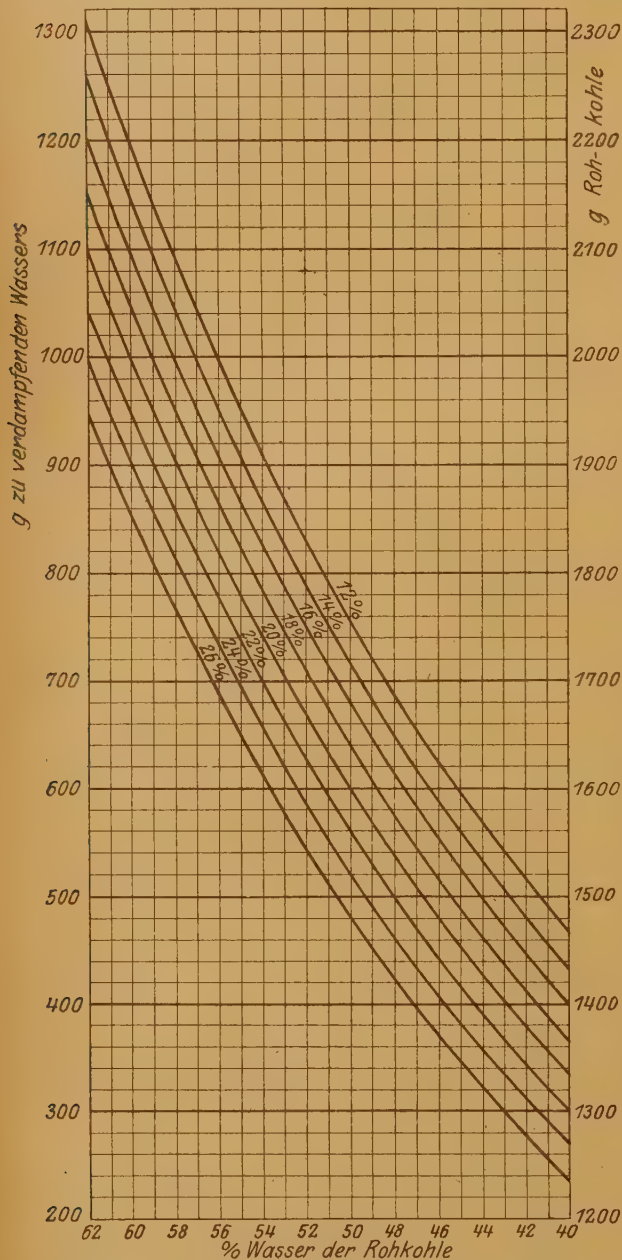


Fig. 9. An den Kurvenlinien ist der Wassergehalt der getrockneten Kohle (Brikettkohle) in % angegeben.

zufassen ist. Gewiß sollen die Vorzüge des Briketts, wie größere Sauberkeit bei der Verwendung, namentlich im Hausbrand, und größerer Heizwert nicht verkannt werden. Um jedoch 1 kg Briketts mit einem Heizwert von 4500 WE zu erhalten, werden etwa 3 kg Rohkohle von  $\omega = 60,5$  mit einem Heizwert von je 2200 WE, insgesamt 6600 WE einschließlich der Feuerkohle aufgewandt. Das würde einem Verluste von  $\sim 30\%$  entsprechen, der volkswirtschaftlich unter den heutigen Verhältnissen zu den ärgsten Bedenken Anlaß geben müßte.

Hier zeigt sich die Bedeutung der Dampfwirtschaft modern eingerichteter Braunkohlenwerke. Bei Anwendung der Dampftrocknung mit hoher Kesseldampfspannung und hoher Überhitzung des Kesseldampfes, niedriger Trockendampfspannung und Ausnutzung des Dampfdruckgefälles zur Krafterzeugung sinken die unmittelbaren Verluste unter 10 %. Es ist dabei zu bedenken, daß erhebliche Kräfte für den Bergwerksbetrieb, insbesondere für den Tagebaubetrieb erzeugt wer-

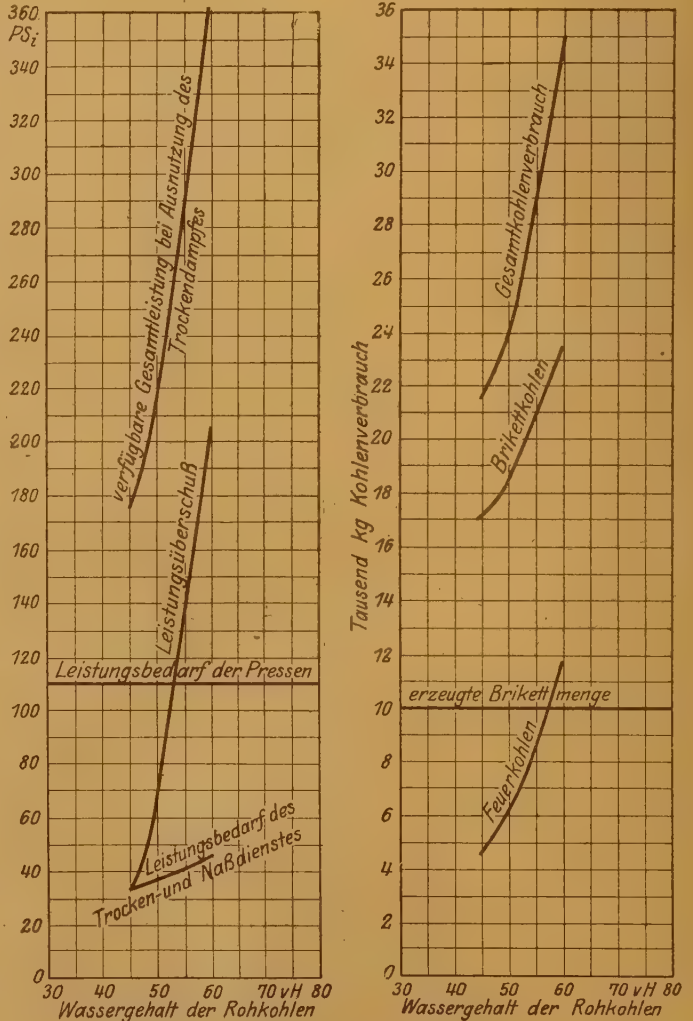


Fig. 10. Einfluß des Wassergehaltes der Rohkohlen auf die Kraftwirtschaft und den Rohkohlenverbrauch der Brikettfabriken.



den müssen, und die entsprechenden Kohlenmengen auch dann verbrannt werden müßten, wenn der damit erzeugte Dampf nach Ausnutzung seiner Spannung nicht zum Trocknen verwendet werden sollte.

Bei hochmodern eingerichteten Brikettfabriken ist es unter Berücksichtigung des Heizwertverbrauches, d. h. also im allgemeinen volkswirtschaftlichen Interesse vielfach günstiger, den Verbrauchern in unmittelbarer Umgebung der Brikettfabriken Briketts zuzuführen. Das gilt vor allem für ein Ausgangsmaterial von hohem Wassergehalt.

Dazu kommt die wesentlich verminderte Beanspruchung der Eisenbahn durch geringere Wagengestellung (1:3) und Zugdichte, so daß die Eisenbahn für andere Zwecke frei wird. Die Industrie erzielt bei Anwendung von Briketts an Stelle von Rohkohlen eine wesentliche Ersparnis an Heizer-, Lager- und Transportkosten innerhalb des Betriebes.

Es ergibt sich also, daß die Brikettierung im volkswirtschaftlichen Interesse anzustreben ist, soweit die Verwendung der Braunkohle als Feuerkohle in Frage kommt. Ob sich unter den heutigen Verhältnissen der Neubau von Brikettfabriken finanziell rechtfertigen läßt, ist nur von Fall zu Fall zu beantworten. Ich möchte jedoch darauf hinweisen, daß von seiten der privaten Industrie große Neuanlagen in der Lausitz im Bau begriffen sind.

In neuerer Zeit ist bekanntlich die Staubkohlenfeuerung sehr vervollkommen worden. Es ist klar, daß man auch Versuche durchgeführt hat, getrocknete Braunkohlen für diesen Zweck zu verwenden. Bei den bisher durchgeführten Versuchen hat man die Trocknung mit Hilfe von Feuergasen durchgeführt. Ich glaube, schon genügend klargelegt zu haben, daß diese Trocknungsart der Trocknung mittelst Abdampf betriebswirtschaftlich unterlegen ist. Auch wird für die Herstellung des Staubes ungefähr ebensoviel Arbeit gebraucht, wie für die Brikettierung 32 PS-Std. je Tonne Briketts bzw. Staubkohle — vgl. Braunkohle 1922-23, S. 91.

Die chemische Verarbeitung der Braunkohlen soll hier nicht erörtert werden. Immerhin möchte ich ebenso wie bei der Steinkohle in großen Zügen die Wärmewirtschaft und die mit der chemischen Verarbeitung zusammenhängende Verwertung der Braunkohlen besprechen.

Soweit es sich um den dem Steinkohlenkokereibetrieb parallel gehenden Braunkohlenschwelbetrieb handelt, ist wenig zu sagen. Es werden hierzu bis jetzt nur Rohbraunkohlen verwendet. Über den Zusammenhang des Wassergehaltes dieser Kohle mit dem im Schmelofen erforderlichen Wärmearaufwand liegen meines Wissens bisher noch keinerlei Feststellungen vor. Das ist entschieden ein bedauerlicher Mangel, der im Interesse dieses Industriezweiges möglichst

bald beseitigt werden muß. Annähernd kann man ja aus dem Steinkohlenkokereibetriebe Rückschlüsse ziehen. Nimmt man für die Braunkohlenschmelöfen hinsichtlich der Verdampfung des Wassers den gleichen Wirkungsgrad wie beim Koksofen an, das ist bei einem Aufwand von einer WE je Gramm zu verdampfenden Wassers, also einer gewonnenen Verdampfungswärmemenge von 0,637 WE, ein Wirkungsgrad von  $\eta \sim 0,64$ , so erhält man im Schmelofen bei der Verwendung grubenfeuchter Rohkohlen ganz beträchtliche Wärmeverluste. Gleichzeitig verdünnen die erheblichen, im Gase enthaltenen Wassermengen die absorbierten Ammoniakmengen so stark, daß sich deren Gewinnung nicht lohnt.

Ich bin nun der Ansicht, daß sich auch getrocknete Kohlen in geeigneten Apparaten gut verschwelen lassen, und halte es daher für richtig, ebenso wie ich es bei der Besprechung der Steinkohlenkokerei schon vorgeschlagen hatte, die Braunkohlen vor der Schwelung mit Dampf zu trocknen, um gleichzeitig die bei Anwendung hoher Kesseldampf- und niedriger Trockendampfspannung verfügbaren Kräfte gewinnen zu können. Bei dem hohen Wassergehalt der Rohkohle dürfte gerade hier die wirtschaftliche Bedeutung der Vortrocknung ganz erheblich sein. Selbstverständlich wird man zweckmäßig die Brikettierung der Kohle vor ihrer Verschwelung möglichst vermeiden, um nicht unnütz große Kräften zu binden, die besser für andere Zwecke verwendet werden. Außerdem wird man dann vielleicht auch das Ammoniak mit Vorteil gewinnen können. Trocknet man Rohkohle von 58 % Wasser auf 16 % herunter, so bleibt als Ammoniakwasser nur rund  $\frac{1}{4}$  der früheren Menge. Der Gehalt an Ammoniak steigt in diesem Wasser also prozentual um das achtfache.

Aus den gleichen Gründen ist auch beim Generatorbetrieb die Verwendung von Briketts vorteilhafter. Neben den bisher besprochenen wärmewirtschaftlichen Fragen kommt hier noch der Umstand hinzu, daß sich Rohbraunkohlen im Generatorfeuer wegen ihres hohen Wassergehaltes ungünstiger verhalten wie Briketts.

Bei der Anwendung von Rohbraunkohle muß die zur Verdampfung der großen Wassermengen erforderliche Wärme im Generator selbst aufgebracht werden. Infolgedessen muß die Feuerzone des Rohkohलगenerators wesentlich heißer sein, wobei die Höhe der Feuerzone abnimmt, „gedrückt“ wird. Es ist ein sehr großes Temperaturgefälle für die Trocknungs- und Schwelzone nötig, um das Produkt  $(G + D_u) \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)$  bei hohem Wassergehalt auf die erforderliche Höhe zu bringen.

Hierbei ist:

$G$  = Gew. d. erzeugt. Gases je kg Rohkohle,

$D_u$  = Gewicht des unzersetzten Dampfes je kg Rohkohle,

$c_p$  = spez. Wärme des Gemisches bei konstantem Druck (Braunkohle 1922, Heft 1 S. 5).

Im allgemeinen ist nun die chemische Zusammensetzung der Braunkohlenasche derart, daß sie bei den im Brikettbrande auftretenden Temperaturen nicht sintert, sondern staubig-locker bleibt, während sie bei den höheren Temperaturen des Rohkohlengeneratorfeuers sintert oder auch schmilzt. Besonders Stückkohlen geben infolge der schlechten Wärmeleitung das Wasser des Kernes erst spät ab, und gelangen aus der ziemlich kalten Trocknungszone in die scharf abgegrenzte heiße Feuerzone, wo Trocknung und Schwelung sehr rasch erfolgen. Ist hier noch Luftauerstoff vorhanden, so tritt starke örtliche Erhitzung evtl. mit Schlackenbildung ein.

Es wird überraschen, daß die Temperaturen bei Anwendung von Rohkohlen höher sein sollen, als bei Anwendung von Briketts. Jedoch kommt hier nicht die Flammtemperatur der Feuergase, sondern die Glühtemperatur der Kohenschichten in Frage. Die Temperatur der Gase wird beim Durchstreichen der oberen, noch feuchten Kohenschichten des Generators wieder herabgedrückt, und zwar um so stärker, je nasser diese Kohlen sind.

Die Generatoren werden heute in erheblichem Umfange zur Erzeugung von Tieftemperaturteer verwendet. Auch diese arbeiten fast alle auf eine vollständige Vergasung der Kohlen hin. Da man nicht überall Verwendung für die dabei gebildeten Kraftgasmengen haben wird, so wird es sich vielfach empfehlen, nur in einem Teile der Generatoren nach Bedarf eine vollständige Vergasung durchzuführen und aus den übrigen Generatoren Halbkoks zu gewinnen, der als Grudekoks in Haushaltungen eine steigende Verwendung findet.

Die ausgezeichneten Eigenschaften des Grudekoks, der immerhin sehr stark entgast ist, lenken die Aufmerksamkeit auf eine weitere Zukunftsaufgabe der Braunkohlentechnik und damit der Braunkohlenverwertung. Es handelt sich nicht nur um die Lösung der Frage, ob die Vergasung in Generatoren oder die Entgasung in Schwelöfen vorteilhafter sein wird, es handelt sich vielmehr auch darum, ob es vorteilhafter sein wird, die Braunkohlen durch trockne Destillation, etwa in heißen Gasströmen oder überhitzten Wasserdampfströmen nur zu entteeren, und die gasreichen Rückstände der Industrie als wertvolles Feuerungsmaterial zur Verfügung zu stellen.

#### Zusammenfassung.

A) Die Gründe, welche die Entwicklung der Aufbereitungs- und Verwertungstechnik der Stein- und Braunkohlen beeinflußt haben, werden in großen Zügen erörtert. Sodann werden die wissenschaftlichen Grundlagen der nassen Aufbereitung der Steinkohlen und die bei dieser Aufbereitung angewandten Verfahren besprochen. Die hier in Frage kommende Aufbereitung mit Setzmaschinen beruht auf den Fallbewegungen von Körpern durch Wasser innerhalb eines begrenzten Raumes. Die beiden wichtigsten Verfahren „erst klassieren, dann waschen“ und „erst waschen, dann klassieren“, sowie das Setzen von Feinkohlen wird

kurz erklärt. Die wirtschaftliche Bedeutung der Aufbereitung wird nach den von *zur Nedden* gegebenen Grundlagen an einem Beispiel durchgerechnet.

B<sub>1</sub>) Die Entwicklung des Kokereiwesens wird unter besonderer Berücksichtigung der Wärmewirtschaft besprochen. Es haben sich vier Haupttypen von Koksöfen herausgebildet, und zwar die Abhitzöfen, Regenerativ- und Rekuperativöfen, Kammeröfen und Verbundöfen. Die beiden letzteren Typen ermöglichten die restlose Verwendung der bei der Kokerei erzeugten Destillationsgase außerhalb der Kokerei. Diese Möglichkeit gab im Verein mit den wertvollen Eigenschaften der Destillationsgase Veranlassung, die Koksöfen auf den Eisenhüttenwerken zu errichten. Durch die neueren Ferngasleitungen ist es wirtschaftlicher, die Koksöfen am Erzeugungsorte des Ausgangsproduktes, also auf den Zechen, zu bauen.

B<sub>2</sub>) Bei der Untersuchung der Wärmewirtschaft des Koksofenbetriebes wird festgestellt, daß sich ohne jeden Mehraufwand an Heizmaterial durch Vortrocknung der Koksöfen mittels Dampftrockenapparaten, in denen der Abdampf von Dampfmaschinen Verwendung findet, erhebliche Kraftmengen gewinnen lassen, welche daher nur die Kosten für Unterhaltung, Wartung und Amortisation erfordern. Bei einem mittleren Wassergehalt der feuchten Koksöfen von 12 %, der getrockneten Koksöfen von 5 % und einer mittleren Koksausbeute von 75 % können je 1 Million t Koks auf diese Weise etwa 13,760,000 PS/Std. gewonnen werden. Das entspricht einem Gewinn von 4—5 PS eff. Dauerleistung je Koksofenkammer von 7 t mittlerer Tagesleistung an Koks.

C<sub>1</sub>) Die Verwertung der Braunkohlen als Feuerkohle erfolgt in der Nähe der Gewinnungsorte meist in der Form von Rohkohlen. Bei größerer Entfernung des Verbrauchsortes tritt an deren Stelle der Frachtkosten wegen das Brikett. Für die Grenze sind die Kohlenpreise, die Entlade- und Heizkosten, sowie das Verhältnis des Wassergehaltes der Rohkohlen und Briketts von Bedeutung. Die grundlegenden Bedingungen der Dampfwirtschaft werden mit Hilfe einer graphischen Darstellung erläutert. Es ergibt sich, daß möglichst niedrige Trockendampfspannungen sowohl im Interesse einer günstigen Kraftgewinnung, als auch im Interesse eines gleichmäßigen Betriebsergebnisses bei Feuchtigkeitsschwankungen der zu trocknenden Rohkohlen liegen.

C<sub>2</sub>) Die Vortrocknung dürfte sich aus wärmewirtschaftlichen Gründen auch bei der chemischen Verarbeitung der Braunkohlen in Schwelöfen und Generatoren empfehlen.

## Besprechungen.

Oltmanns, Friedrich, *Das Pflanzenleben des Schwarzwaldes*. Herausgegeben vom Badischen Schwarzwaldverein 1922. Band I: 708 S. und 119 Abbildungen im Text, Band II: 17 Karten und 200 teils schwarze, überwiegend aber farbige Tafeln<sup>1)</sup>.

Die Anregung zu diesem — besonders mit Rücksicht auf die heutigen Verhältnisse — großzügig angelegten Werke ging von dem 1899 erschienenen „Pflanzenleben der schwäbischen Alp“ von *Gradmann* aus. Ca. 20 Jahre dauerte es, bis der Schwarzwaldverein die Mittel dazu aufgebracht hatte. Dieses echt deutsche Heimatbuch will zeigen: „wie das Landschaftsbild, das wir be-

<sup>1)</sup> Ohne Angabe eines Verlegers und Druckortes auf dem Titelblatt.



wundern, geworden, will zeigen, daß das, was wir heute sehen, nicht ein Endglied, sondern nur ein Durchgangsstadium darstellt. Wir wollen weiter schildern, wie die Pflanzen in Berg und Tal miteinander leben, wie sie für den Standort, auf dem sie sich jeweils befinden, ausgerüstet sind, wollen dartun, daß das, was wir bei uns erleben, auch für weite Teile der ganzen Welt Geltung hat. So hoffen wir, daß das Buch nicht bloß für den einsamen Wanderer nützlich sein werde, sondern daß es auch eine gewisse Einwirkung auf den Unterricht in den Schulen ausüben möge<sup>2)</sup>, denn der Verfasser ist wohl kaum allein der Ansicht, daß der biologische Unterricht ausgehen müsse von der Umgebung, und daß der Schüler zunächst einmal in dieser müsse sehen lernen.“ Kein Bestimmungsbuch, keine Floristik! Die größte Schwierigkeit lag meines Erachtens darin, daß das Buch „dem Laien, wie auch dem Kenner“ in gleicher Weise gerecht werden sollte. Der Verfasser selbst drückt seine Zweifel an dieser Möglichkeit in liebenswürdig-bescheidener Weise damit aus, daß er das personifizierte Buch zu dem Leser sagen läßt: „Ich bin nun, wie ich bin, so nimm mich denn hin!“

Der leicht verständliche, echt volkstümliche, oft sogar durch heimatlich alamannische Wendungen, nicht nur an den Verstand, sondern auch an das Gemüt des Lesers klopfende Ton macht die Lektüre leicht und bei größter Klarheit anregend. Eine gewisse epische Breite, die auch vor zahlreichen Wiederholungen in den verschiedenen, zwar äußerlich durch besondere Überschriften scheinbar scharf getrennten, aber doch in den meisten Beziehungen ineinander übergehenden Kapiteln nicht zurückschreckt, macht es für den Laien um so einprägsamer. Das ist besonders der Fall in den von der Pflanzengeographie, den Pflanzenwanderungen und den Pflanzengemeinschaften handelnden Kapiteln schon allein deshalb, weil der Verfasser, um recht verständlich zu sein, sich gezwungen sah, weit auszuholen und aus den allgemeinen, ganz Europa betreffenden Verhältnissen die Beziehungen zu seinem engeren Lokalgebiet zu abstrahieren und diese aus jenem sich naturgemäß entwickeln zu lassen.

Der Verfasser macht keinen Anspruch darauf, an sich durchaus Neues zu bringen und „will gerne erklären, daß alles, was in diesem Buche steht, bereits irgendwo einmal gesagt, geschrieben oder gedacht worden ist“. Nichtsdestoweniger ist es nicht rein kompilatorischer Natur, und das besonders Wertvolle liegt darin, daß der Verfasser seine „neue Heimat hatte kennen und lieben gelernt“, daß alles, was sich auf sie bezieht, durch eigene Anschauung auf zahlreichen Exkursionen persönlich erschaut und erlebt wurde, und daß er alle interessanten Pflanzenfundorte selbst mit Schülern und Freunden besuchen konnte.

Der Stoff ist in 4 große Abschnitte gegliedert, die betitelt sind: A. der Kampfplatz, B. die Geschichte der heimischen Flora, C. die Bestandteile der Schwarzwaldflora, D. die einzelnen Gebiete.

In dem ersten wird die Abgrenzung des eigentlichen Schwarzwaldes von seinem östlichen Vorland, der Baar und seinen westlichen Vorbergen, dem Isteiner Klotz, der Schwärze bei Müllheim, dem Kastelberg bei Sulzburg, dem Schloßberg bei Staufen, dem Schönbühl bei Freiburg festgelegt. Auch die Hügel der Rheinebene Tuniberg, March und vor allem der Kaiserstuhl gehören dazu. Geologische, klimatische und allgemeine Vegetationsverhältnisse werden geschildert.

Der zweite Hauptabschnitt behandelt in 2 Unterabschnitten I. die natürlichen Wandlungen vom Tertiär durch das Tertiär zum Diluvium, bei letzterem die Eiszeiten, die post- und interglaziale Zeit, die Steppenzeiten und deren Folgen, immer zuerst in bezug auf den ganzen Erdteil, dann im besonderen auf das Spezialgebiet. Das Sichere, was die fossilen Funde ergeben, wird vom Problematischen scharf geschieden. Die Wanderungen, besonders die postglazialen, und die Glazialrelikte finden eingehende Besprechung. Der Verfasser nimmt eine große Eiszeit mit mehreren Schwankungen der Vergletscherung an, wie neuerdings auch Lepsius im Gegensatz zu Marie Jerosch. Der zweite Unterabschnitt schildert unter den „Eingriffen des Menschen“ zunächst die „Änderungen des Landschaftsbildes in prähistorischer Zeit, unter der Römerherrschaft und bei den Alamannen, die großen Rodungen der Urwälder nach deren Selbsthaftigkeit und die Waldnutzungen. Hier geht der Verfasser mit liebevoller Gründlichkeit auf das Nutz- und Brennholz, dessen Fällung und Transport, auf Weide und Mast im Walde, die Zeidelweide (Waldbienenzucht), die Harznutzung, die Aschenbrenner, Glashütten, die Streunutzung, die Köhlerei, den Bergbau ein und entwirft ein ungemein anziehendes, durch alte Gebräuche und Verordnungen aus Urkunden verlebendigt Kulturbild. Das „Schicksal der Waldbäume“ a) Urwald, b) der Kampf der Bäume, c) aussterbende Bäume, d) Ansiedlung fremder Bäume) tritt uns in einem weiteren Kapitel entgegen, dem als letztes des II. Unterabschnitts die „Kulturpflanzen“ (Feldkulturen, Reben, Obst, Gemüse, Zierpflanzen, Unkräuter) folgen.

Der dritte Hauptabschnitt, der die „Bestandteile der Schwarzwaldflora“ und ihre Beziehungen zu den großen Florengebieten Europas und Asiens behandelt, gibt dem Verfasser Gelegenheit, vielfach eigene Anschauungen zu begründen, wenn er auch in Übereinstimmung mit den Haupteinteilungen der Florenreiche durch Engler, Drude und andere steht. „Aber über die Gruppierung im einzelnen ist man sich keineswegs einig, und ebenso divergieren noch die Auffassungen stark über die Zuweisungen der einzelnen Arten zu gewissen Florenbezirken. Auch von seinem Nachbar Gradmann weicht der Verfasser in manchen Einzelheiten ab. Er erkennt an: ein arktisches Florengebiet, ein nordisches Florenreich mit 2 Untergebieten: das subarktische oder Nadelwaldgebiet und das mitteleuropäische oder Laubwaldgebiet mit dem atlantischen Gebiet. Eine ausführliche Übersicht der einzelnen, diesen verschiedenen Gebieten zugehörigen Arten schließt sich an, ebenso wie an die folgende Schilderung der „südöstlichen und östlichen Florenreiche“ mit dem pontisch-zentralasiatischen und dem mediterranen Florenreich. Besonders betont wird die Schwierigkeit, pontische und südeuropäische Typen mit Sicherheit abzugrenzen und die daraus resultierende große Diskrepanz unter den verschiedenen Forschern. Gerade durch die Mischung der Vertreter aus der pontischen und der mediterranen Flora wird der Schwarzwald zu einem der interessantesten botanischen Gebiete Deutschlands gestempelt. Die großen Pflanzenverzeichnisse der Florengebiete gewinnen sehr an Übersichtlichkeit durch die Einteilung nach Standortgruppen: „Wald, Busch- oder Heidewald, Raine, Matten, Weidfelder, sonnige Hügel, Felsen und Mauern, Wiesen, Ufer und nasse Orte, Wasser und Sumpf, Moore, Begleiter des Menschen“. Aus allen diesen speziell nordischen Pflanzengruppen werden die *Berg- und Gebirgspflanzen, montane und alpine Arten*, natur-

<sup>2)</sup> Wohl nur in der Hand des Lehrers?



gemäß besonders ausführlich behandelt. Durch seine eingehenderen Studien gerade dieser kam der Autor dazu, diese in nordisch-montane, hochnordisch-alpine, diese letzteren wieder in hochnordisch-alpine Arten mit weiter Verbreitung in den Zwischengebieten, solche, welche nur die niederen deutschen Mittelgebirge, z. B. den Harz, meiden, und solche, welche bei uns auf Süddeutschland beschränkt sind, zu scheiden, ferner in mitteleuropäisch-montane und -alpine (oder kurzweg alpine) Arten. Bei uns steigen die montanen und alpinen Arten niemals in das Rebengelände hinab. Weiter nördlich treten dieselben Genossenschaften auch in der Ebene auf, montane Arten leben im niederdeutschen Tieflande wenige Meter ü. d. M. Alpine Formen können in Skandinavien, Sibirien oder Grönland nahe an den Seestrand heranrücken.

Nachdem durch diese 3 großen Abschnitte alle äußeren und inneren Beziehungen zum Verständnis der heutigen Pflanzenbesiedelung des Schwarzwaldes geklärt sind, werden im vierten D. die einzelnen Gebiete desselben ausführlich auf ca. 430 Seiten gezeichnet, und zwar wieder I. der Schwarzwald, II. das östliche Schwarzwaldvorland und III. die westlichen Vorberge, dabei in weitgehendem Maße biologische, physiologische und anatomische Verhältnisse eingeflochten und durch klare Abbildungen erläutert. Als Beispiel für die Vielseitigkeit, mit der der Autor sein Thema beleuchtet, gebe ich nur die Überschriften der den eigentlichen Wald im Schwarzwald behandelnden Kapitel: 1. Wald a) Aufbau des Waldes. α) Unterer Bergwald: Baumbestände, Unterwuchs, Wanderungen, Verzeichnis der Pflanzen des unteren Bergwaldes. β) Oberer Bergwald mit denselben Einzelkapiteln, dazu noch: Schlagpflanzen. Pflanzengeographische Beziehungen. b) Die Ursachen der Wald- und Baumverteilung. c) Das Leben des Waldes. α) Der Baum: 1. Der Sproß, a) die Entwicklung: Nadelhölzer, Laubhölzer, Zuwachs, alte Bäume, b) das Lichtleben des Baumes: Form der Krone, Lang- und Kurztriebe, Blattmosaik, Sonnen- und Schattenblätter, die sogen. Reinigung der Bäume, c) die Entwicklungszeiten: Sommer und Winter, Vorbereitungen für den Winter, Knospen, Blattfall, Winterruhe, das Austreiben, Blüten und Früchte. 2. Die Wurzel: β) das Leben im Waldboden, γ) der Unterwuchs, δ) Symbiose und Parasitismus. Daran schließen sich die waldfreien Gebiete des Schwarzwaldes mit ihrer subalpinen Region, der mittleren und unteren Bergregion, die besonders anschauliche Schilderung der Moore und ihrer Entwicklung, die Seen. — Die zahlreichen, überall eingestreuten „Wanderungen“ oder Exkursionen und die ausführlichen Pflanzenverzeichnisse kommen dem Verständnis weitgehendst entgegen.

Ganz besonders anziehend sind nun, abgesehen von den sehr instruktiven Verbreitungskarten, für den Laien die Tafeln des II. Bandes, die auch in der Farbe fast durchweg als recht gelungen bezeichnet werden müssen. Trotzdem bei ihrer Herstellung richtige Künstlerhände, ob beruflicher oder nicht beruflicher Zugehörigkeit, Stift und Pinsel führten, litt darunter nicht, wie sonst häufig, die Naturtreue. Reizvoll ist gerade die Verschiedenheit der „Manier“ bei den schwarzen Tafeln, bei denen mir gerade die nicht ins kleinste Detail gehenden, mehr impressionistischen, kräftig konturierten Bilder oft das Charakteristische im Habitus am besten wiederzugeben scheinen (z. B. *Helleborus foetidus*, Taf. 71). Alle sind sie oder wären sie auch ohne Unterschriften der Namen dem Kenner auf den ersten Blick erkennbar, auch die schwarzen

Figuren, besonders von *Rich. Schilling*. Dr. Claussen als Leiter, *Elisabeth Schönleber*, Prof. *Robert Lais*, *Heinz Daniel*, *Paul Lais* lieferten die Hauptmasse der Bilder, einige andere Herren und Damen kleinere Beiträge. Doppelt anerkennenswert ihre Tätigkeit, weil sie umsonst, rein im Interesse des schönen Werkes, geübt wurde. — Dem Schwarzwaldverein gebührt für diese selbstlose Kulturtat in schwerster Zeit höchster Dank.

Alles in allem: Das Buch ist für den Laien eine unerschöpfliche Fundgrube neuer naturwissenschaftlicher Kenntnisse, eine außerordentliche Anregung zur Beschäftigung mit der *scientia amabilis*, eine Quelle unversiegliger Genüsse, die über die Widerwärtigkeiten des heutigen beruflichen und nichtberuflichen Alltagslebens erheben und sie vergessen lassen, für den Kenner ein angenehmes Repetitorium mit zahlreichen neuen phytostatischen Tatsachen, mit originellen pflanzengeographischen und pflanzengemeinschaftlichen Auffassungen, die manchmal auch zum Widerspruch reizen werden, für den Bewohner des geschilderten herrlichen Landes ein echtes Heimatbuch, das sich nicht nur an den Verstand, sondern auch an das deutsche Gemüt wendet.

K. Touton, Wiesbaden.

**Kolkwitz, R., Pflanzenphysiologie. Versuche und Beobachtungen an höheren und niederen Pflanzen.** 2. umgearbeitete Auflage. Jena, Gustav Fischer, 1922. 304 S., 153 Textfiguren und 12 Tafeln. Preis geh. M. 130,—; geb. M. 180,—.

**Kolkwitz, R., Pflanzenforschung.** 1. Phanerogamen (Blütenpflanzen). Jena, Gustav Fischer, 1922. 64 S., 37 Textabbildungen und 1 Tafel. Preis M. 30,—.

Die „Pflanzenphysiologie“ von Kolkwitz erscheint nach 8 Jahren in zweiter, dem neuen Stand der Forschung Rechnung tragender Auflage. Wie der Untertitel andeuten soll, handelt es sich nicht um ein Lehrbuch, sondern in erster Linie um eine Anleitung zum Experimentieren und Beobachten für Studenten und Studienräte. Die Behandlung des Stoffes ist im wesentlichen gleich geblieben, einige Kapitel (Bryophyten, Pteridophyten) wurden neu eingefügt, desgleichen zahlreiche Textfiguren, und das Literaturverzeichnis wurde um 300 Nummern erweitert, so daß der Leser sich in speziellen Fragen leicht weiterfinden kann. Der erste Abschnitt ist den Phanerogamen gewidmet und behandelt in besonderen Kapiteln: „Notwendige Elemente und Nährsalze“, „Das Chlorophyll und seine Funktion“, „Diffusion, Osmose und Turgor“, „Zucker, Stärke, Reservezellulose, fettes Öl“, „Eiweiß, Wasser und Luft“, „Atmung“, „Bewegung, Wachstum und Reiz“, „Fortpflanzung und Vererbung“. Allenthalben ist den Zeitverhältnissen entsprechend auf die Beschreibung möglichst einfacher Apparaturen Wert gelegt, die auch durch zahlreiche Abbildungen veranschaulicht werden. Da und dort bewegt sich die Darstellung etwas zu sehr an der Oberfläche. So wäre es auch aus pädagogischen Gründen sehr erwünscht gewesen, wenn in dem Kapitel „Diffusion, Turgor und Osmose“ die scharfen Begriffsbestimmungen von Ursprung, auf die in der „Pflanzenforschung“ kurz verwiesen ist, Berücksichtigung gefunden hätten, wenn in dem Kapitel über Wachstum, Bewegung und Reiz Begriffe wie Tropismus, Taxis u. a. besonders definiert worden wären. Die Behandlung der Vererbungslehre insbesondere ist so summarisch, daß sie eher schadet als nützt. Bei den sonstigen Vorzügen des Buchs wäre es erwünscht, wenn diesen Dingen in einer folgenden Auflage Rechnung getragen würde. Der zweite Abschnitt beschäftigt sich mit den



Kryptogamen, die in systematischer Reihenfolge angeführt werden. Der Titel „Pflanzenphysiologie“ ist hier insofern irreführend, als die Aufzählung besonders der hydrobiologisch wichtigen Formen mit kurzer Charakterisierung ihrer morphologischen und ökologischen Eigenschaften den größten Raum einnimmt. Einleitend werden einige Hinweise auf Lupen und Mikroskope gegeben, Bemerkungen über die geeigneten Kulturbedingungen sind immer an Ort und Stelle eingestreut, und besonders wertvoll ist, daß der Verfasser seine ausgedehnten Erfahrungen über Hydrobiologie mit heranzieht. Das gelangt besonders im Kapitel über die Ökologie der Gewässer zum Ausdruck, in dem über Dreischmethoden, Selbstreinigung der Gewässer usw. berichtet wird. Auch die Tierwelt der Gewässer wird anfangsweise mit herangezogen.

Um den Umfang des Werkes nicht allzusehr zu steigern, hat Verfasser sich entschlossen, zur Ergänzung einen laufenden Kommentar in Heftform herauszugeben, der in kleinen Monographien weitere Versuche und Methoden mit größerer Ausführlichkeit unter dem zusammenfassenden Titel „Pflanzenforschung“ bringt. Erschienen ist bis jetzt erst das erste Heft, Phanerogamen, das im wesentlichen freilich bloß eine Wiedergabe des ersten Abschnittes der „Pflanzenphysiologie“ ist. Der Stoff ist hier sogar komprimiert, nur stellenweise sind kleine Ergänzungen und Zusätze hinzugefügt. Dagegen werden für die folgenden Hefte ausgedehnte Erweiterungen in Aussicht gestellt. Die Zerlegung in Teilmonographien ist auch deshalb erwünscht, weil in der „Pflanzenphysiologie“ in den Hauptabschnitten verschiedene Gesichtspunkte miteinander streiten, worunter die Einheilklichkeit und Geschlossenheit des Ganzen etwas leidet.

P. Stark, Freiburg i. Br.

## Mitteilungen aus verschiedenen biologischen Gebieten.

Über den Einfluß des Schwerereizes auf das Wachstum der Koleoptile von *Avena sativa*. Der Einfluß von Schwerkraftreizen auf die Wachstumsgeschwindigkeit ist schon bei verschiedenen Objekten untersucht worden, ohne daß es bis jetzt geglückt ist, zu einem durchweg klaren Bild zu gelangen. Durch die interessanten Arbeiten *Blaauws* über die Beziehungen zwischen der Photowachstumsreaktion und den phototropischen Erscheinungen ist die Frage wieder besonders aktuell geworden, und deshalb wurde sie von *Clara Zollikofer* erneut aufgegriffen, um festzustellen, ob die geotropischen Krümmungen vielleicht in entsprechender Weise durch eine Schwerewachstumsreaktion erklärt werden können (Rec. d. trav. bot. néerl. 18, 1922). Die Versuche *Zollikofers*, die sich auf die Koleoptile von *Avena sativa* erstreckten, führten zu folgendem Ergebnis: Durch die Einwirkung von Schwerkraft- und Zentrifugalkraftreizen wird das Wachstum in doppelter Weise verändert; an Stelle des gleichmäßigen Wachstums treten mehrfache Oszillationen, wie dies ja auch für den Phototropismus namentlich von *Sierp* festgestellt wurde, und außerdem wird die Wachstumsgeschwindigkeit in gesetzmäßiger Weise geändert, zumeist derart, daß — im Großen betrachtet — auf eine Phase der Beschleunigung eine solche der Hemmung folgt. Dieses Verhalten ist dem bei Lichtreizen beobachteten gerade entgegengesetzt, eine Tatsache, die *Cl. Zollikofer* darauf zurückführt, daß *Avena* dem Licht gegenüber positiv, der Schwerkraft gegenüber dagegen negativ reagiert; damit

stimmt aufs beste überein, daß *Giesenhausen* für die positiv geotropischen Rhizoiden von *Chara* eine invers verlaufende Schwerewachstumsreaktion fand. Die Schwerewachstumsreaktion tritt sowohl bei allseitig wirkender (Rotation am Klinostaten), wie auch bei einseitig wirkender Schwerkraft ein. Greift die Schwerkraft nicht senkrecht, sondern parallel zur Organachse an, dann dominiert, worauf schon die Versuche von *M. Riß* hindeuten, die Hemmungsphase. Wichtig für die Deutung der geotropischen Krümmungen ist nun die Tatsache, daß die verschiedenen Phasen der Schwerewachstumsreaktion sich in schönster Weise mit den Kardinalpunkten der geotropischen Reaktion decken. Auch das Oszillieren des Wachstums findet sein Spiegelbild darin, daß die geotropische Reaktion nicht gleichmäßig abläuft, sondern charakteristische Schwankungen aufweist. Man braucht sich nun nur vorzustellen, daß die der Schwerewachstumsreaktion entsprechenden Wachstumsoszillationen sich auf den opponierten Reizflanken nicht gleichzeitig abspielen, sondern gegeneinander verschoben sind, um so zu einer Erklärung der geotropischen Erscheinungen zu gelangen. Bis hierher besteht also ein weitgehender Parallelismus zum Phototropismus. Nur fällt es beim Phototropismus leichter, die Phasenverschiebung zu erklären; sie ist hier einfach dadurch bedingt, daß das Licht auf seinem Weg durch die Avenakoleoptile mehr und mehr abgeschwächt wird, so daß die Rückenflanke viel länger belichtet werden muß als die Vorderflanke, um dieselbe Lichtmenge zu erhalten; die Schwerkraft aber ist für alle Reizflanken gleich groß. Man muß hier also zu besonderen Hilfsannahmen greifen. *Clara Zollikofer* weist auf die Möglichkeit hin, daß durch das Herabsinken bestimmter Zellinhaltsstoffe (vielleicht der Stärkekörner), die elektrisch geladen sind, Potentialdifferenzen im Innern der Zelle geschaffen werden können, die ein verschieden rasches Wachstum an den beiden Polen nach sich ziehen. Das ist vorläufig natürlich eine Hypothese, nur ein Weg, wie man sich die Sache verständlich machen könnte. Als wesentlich betrachtet *Zollikofer* bei ihren Versuchen, daß sich die Möglichkeit eröffnet, die geotropischen Reaktionen lediglich als Folgeerscheinung der Schwerewachstumsreaktion zu erklären, in derselben Weise, wie dies *Blaauw* für den Phototropismus auf Grund der Photowachstumsreaktion versucht hat und wie dies neuerdings *Waller* für den Hydrotropismus bei *Phycomyces* (vgl. Nr. 17) anstrebt. Sollten sich diese Deutungsmöglichkeiten, denen allerdings von manchen Seiten aus Bedenken gegenüberstehen, als richtig erweisen, dann würde das eine wesentliche Vereinfachung des Problems der tropistischen Erscheinungen darstellen. Indes hat *Blaauw* selbst seinen Standpunkt neuerdings modifiziert.

Stark.

Die elektrohygienische Wertung des Betons. (*Stefan Jellinek*, Wien. klin. Wochenschr. Jg. 33, Nr. 17, S. 364—366, 1920.) Zwei nach Ort und Zeit getrennte elektrische Unfälle ereigneten sich in Wien dadurch, daß in ihren Schuhen auf Eisenbeton stehende Arbeiter mit dem rechten Arm stromführende Teile einer 5000-voltigen Hochspannungsanlage berührten. Der eine Betroffene starb, der andere kam, wohl infolge der sofort einsetzenden ersten Nothilfe (künstliche Atmung), mit dem Leben, allerdings unter Zerstörung von Weichteilen des Arms, davon. Nach der ganzen Sachlage konnte es sich nur um Erdschluß handeln, welcher durch die Betonunterlage und die Schuhe vermittelt worden war. Sichtbarlich dokumentierte sich der Elektrizitätsübergang durch kongruente



Brandflecken am Betonboden und der Unterfläche der Schuhe. Auch die Fußsohlen der Verunglückten wiesen hirsekorngroße Brandwunden als Ausdruck des Stromdurchtritts auf. Die beiden Fälle gaben Anlaß, die elektrische Leitfähigkeit des Eisenbetonbodens mit Hilfe eines Präzisionsvoltmeters zu untersuchen, welches zwischen die Hochspannungsanlage und verschiedene Punkte des Fußbodens eingeschaltet wurde. Es zeigte sich, daß das Leitvermögen des Betons in hohem Maße von seinem Feuchtigkeitsgehalte abhängig ist. Der mit wässrigen Flüssigkeiten absichtlich getränkte Fußboden leitete so gut wie Metall, unbefeuchtet zeigte er ein schwankendes Verhalten, und zwar in Hinsicht auf die zufällig gewählte Kontaktstelle wie auch zeitlich nach der Größe der jeweils herrschenden Luftfeuchtigkeit. Der gleiche Boden, welcher an einem sonnigen, luftigen Tage sich als guter Isolator erwies, war bei regnerischem Wetter ein guter Stromleiter. An diesen Tatsachen kann sowohl der Hygieniker als auch der Ingenieur wegen der Fragen der Unfallverhütung, des Blitzschutzes usw. nicht vorübergehen. Von physiologischem und psychologischem Interesse ist noch ein Selbstversuch des bei den Prüfungen beteiligten Ingenieurs *Scheiber*, welcher, in Schuhen auf dem Betonboden stehend, seinen entblößten Unterschenkel 2—3 Sekunden lang mit einem Strompol der Hochspannungsanlage bestrich, so daß der Elektrizitätsübergang durch Fünkchenbildung und lautes Knistern äußerlich erkennbar war; gleichwohl konnte außer dem „Elektrisiertsein“ des Fußes während des Versuchs und einem „Eingeschlafensein“ nach seiner Beendigung kein subjektives oder objektives Symptom wahrgenommen werden. Der Verf. erblickt darin eine Bestätigung seiner Auffassung, daß durch gespannte Aufmerksamkeit — „Strombereitschaft“ — die Gefahr einer Shockwirkung durch die Elektrisierung erheblich abgeschwächt, ja aufgehoben werden kann.

*Süßmann, Würzburg.*

Berichte üb. d. ges. Physiol. u. experiment. Pharmakol.

**Studien über die Funktionen der Hefezelle. Zymase- und Karboxylasewirkung.** (*E. Abderhalden und A. Fodor*, Fermentforschung 1921, 5, 138—163.) Wenn es gelungen wäre, die „Fermentmoleküle“ als solche durch die bisher bekannten und angewandten Verfahren (Hefepreßsaft, Trockenhefe, Hefemazerationssaft nach *Lebedew*) aus dem Zellinhalt zu entfernen und unverändert in isoliertem Zustande zur Wirkung zu bringen, dann müßten sie außerhalb der Zelle in jeder Beziehung gleiche Wirkungen entfalten wie innerhalb derselben. Da das aber nach den vorliegenden Beobachtungen nicht der Fall ist, entsteht die Frage, ob bis jetzt überhaupt „reine Zymase“ die festgestellten zellfreien Gärungen bewirkt hat und nicht vielmehr noch andere Zellprodukte an der beobachteten Wirkung mitbeteiligt sind. Durch die Abtrennungsverfahren werden offenbar in der lebenden Zelle herrschende Bedingungen von ausschlaggebender Bedeutung ganz wesentlich verändert. Auch in chemisch-kinetischer Beziehung liegen in der „Zymase“ der lebenden Zellen andere Verhältnisse vor als im zellfreien Milieu. Verfasser heben folgende Fragen bei der Erörterung dieses wichtigen Problems der Biologie heraus: Was stellt die Trockenhefe im Vergleich zur lebenden Zelle dar? und ferner: Welche Stoffe werden beim Preß- bzw. Mazerationsverfahren aus der lebenden bzw. getrockneten Hefe entfernt?

Es werden hierzu eine Reihe von Versuchen mitgeteilt, aus denen die Verfasser schließen, daß im Mazerationsrückstand der Trockenhefe lebende Hefezellen enthalten sind. Lebende Hefe in steriler Nährlösung

entfärbt nach mehrstündigem Stehen, wie bekannt, allmählich eine zugesetzte Methylenblaulösung. Beim Schütteln erfolgt wieder Bläunung infolge Reoxydation. Dasselbe Verhalten zeigte nun Trockenhefe. Hieraus ist zu folgern, „daß die getrocknete Hefe den ‚Katalysator Zymase‘ nicht einfach in einer vom Plasma getrennten Form enthält, sondern daß sie ausgetrocknete, allein noch lebensfähige Zellen aufweist, die ihre Lebenstätigkeit nach erfolgter Aufquellung wieder aufnehmen“. Weder Hefeauszüge noch Trockenhefe (Agardondauerpräparat oder durch Alter sterilisierte Hefe) können verdünnte Zuckerlösungen vergären, weil ihnen die Fähigkeit der Konzentration, die nur lebenden Zellen eigen ist, fehlt. Eine weitere Versuchsreihe führt zu dem Ergebnis, daß Brenztraubensäure-Phosphatmischung, im Gegensatz zu 10proz. Glukoselösung, sofort nach Vereinigung mit Trockenhefe gärt, während die Gärung beim Traubenzucker erst nach 40—50 Stunden namhaft wird. Die die Brenztraubensäure spaltende Karboxylase vermag also, wohl infolge ihrer einfacheren und unabhängigeren Beziehung zum Gesamtprotoplasma zu wirken, bevor das Plasma seinen vollständigen Wassergehalt wiedererhalten hat. Die Ansicht, wonach in der Trockenhefe nicht eine beschränkte Fermentmenge wirksam ist, sondern lebende und sich vermehrende Zellen Gärkraft liefern, wird offenbar auch durch folgende Beobachtung gestützt: Die gleiche Menge (10 g) Trockenhefe lieferte beinahe 12 Tage lang Gärkraft und erlahmte erst dann, wohl weil sich Gärungsendprodukte angesammelt hatten. Sie hatte 50 g Rohrzucker vergoren.

Andere Versuche betrafen den Preßsaft. Die Buchnersche Ansicht, daß die wenigen im Preßsaft lebenden Hefezellen die Wirkung des Saftes auf Zuckerlösungen nicht hervorbringen und daß ihrer Vermehrung keine Bedeutung zugeschrieben werden kann, ist unhaltbar. Die Verfasser fanden reichliche Vermehrung neben anderen besonders von *Saccharomyceten*-zellen, die Gärungen hervorrufen. Die im Preßsaft auftretenden Zelltrümmer besitzen allein nicht die Fähigkeit, 20proz. Zuckerlösung zu vergären. Dagegen ist das „Sediment“, welches die Zelltrümmer enthält, reich an *Saccharomyceten*. — Ein weiterer Abschnitt beschäftigt sich mit dem Mazerationssaft. In ihm sind die einzelnen fermentativen Träger bereits unbedingt wesentlich verändert. Dennoch ist ihr Kolloidzustand noch nicht soweit umgewandelt, daß ein Zusammenwirken verhindert würde. „Was also der Vitalist als ‚Überrest protoplasmatischer bzw. vitaler Kräfte‘ bezeichnet, ist in unserer Sprache ‚teilweise Erhaltung des ursprünglichen Kolloidzustandes‘, der durch die Natur kolloider Stoffe bedingten stetigen Verwandlungen unterworfen ist.“ Die Verfasser machen den Versuch, im Mazerationssaft noch auf weitere Anzeichen von vorhandenen Funktionen lebender Substanz zu suchen. Ihre Studien betrafen die Kinetik der Gärung im Mazerationssaft, indem sie die verfolgten Reaktionsverläufe mit reaktionstreibenden Zusätzen auf ein breites Intervall der Zeit ausdehnten. Die von ihnen gefundenen Gesamtkurven entsprechen Parabeln und sie können mit der Reaktion erster Ordnung höchstens bis zu einem Umsatz von 25 % auskommen.

Wie bekannt, hört die Gärwirkung bei Preß- und Mazerationssaft relativ rasch auf. Verfasser konnten sie längere Zeit, wenn auch abgeschwächt, durch Sättigung des Mazerationssaftes mit  $\text{CO}_2$  erhalten. Dagegen konnten bereits abgeschwächte Säfte durch Zusatz von Fructosephosphat oder von wenigen Tropfen eines gärenden Brenztraubensäuregemisches sofort zu starker Gärwirkung gebracht werden. — Messungen



des Sauerstoffverbrauchs ergaben, daß im Mazerations-saft Oxydationsvorgänge vor sich gehen. Mit der Abnahme der Gärungs-erregung sinkt parallel das Absorptionsvermögen für Sauerstoff. Auch diese Erscheinung deutet auf „vitale“ Eigenschaften des Mazerations-saftes. Gleichfalls wurden kinetische Messungen mit Brenztraubensäuregemischen angestellt. Zum Schluß werden einige Versuche über die Haltbarkeit der Karboxylase mitgeteilt. Die benutzten Brenztraubensäuregemische gären mit Mazerations-säften, die durch zweier- oder dreistündiges Ausziehen der Trockenhefe hergestellt wurden, sofort. Wurde dagegen 16 Stunden lang extrahiert, so hat der Saft keine Wirkung mehr.

Dörries, Berlin-Zehlendorf.

**Archiv für Rassen- und Gesellschafts-Biologie,** Bd. 14, Heft 1. Preis M. 30,—. Mit einer Reihe interessanter Abhandlungen beginnt dieser neue Jahrgang der uns von früher wohl bekannten Zeitschrift. *Agnes Blum* bespricht in vorsichtiger Abwägung den Stammbaum einer Familie mit erblichem sporadischem Kropf. Die Verfasserin weist besonders auf die Notwendigkeit hin, nicht nur die offensichtlich befallenen, sondern auch die scheinbar gesunden Familienglieder genau zu untersuchen. — *Ernst Adolf Spindler* beschäftigt sich mit der Häufigkeit von Verwandtenehen in den drei württembergischen Dörfern Hirschau, Wurmlingen und Unterjesingen, von denen das letztere evangelisch, die beiden ersten katholisch sind, sämtlich mit einer bauerlichen Bevölkerung mit geringer Fluktuation. Unter den jetzt lebenden Ehepaaren (insgesamt 453 Ehen) kamen Ehen mit den Geschwistern der Eltern nicht vor, Ehen von Vettern ersten Grades in 1,8 %, Ehen mit Kindern von Vettern in 0,7 % und Ehen von Vettern zweiten Grades in 7,1 %. Das sind Zahlen, die alle merklich höher sind, als die von *Lenz* für Gesamtdeutschland geschätzten. Doch können die Zahlen für die Ehen von Vettern ersten Grades und für die Ehen mit Kindern von Vettern unter Berücksichtigung des ziemlich großen wahrscheinlichen Fehlers noch als annähernd übereinstimmend betrachtet werden. Das gilt jedoch nicht für die Ehen von Vettern zweiten Grades, die in diesen württembergischen Dörfern bedeutend häufiger sind als in städtischer Bevölkerung. — *B. Fleischer* untersucht durch 6—7 Generationen hindurch das Vorkommen myotonischer Dystrophie bei den Nachkommen eines Elternpaares. Diese Krankheit konnte nachgewiesen werden bei den Nachkommen von zweien der 8 Kinder des Stammpaares, und zwar in der fünften, sechsten und in der letzten Generation. In der fünften drei Individuen, von denen zwei wieder myotonische Nachkommen haben, in der sechsten in vier Einzelfamilien, in denen meist mehrere Geschwister erkrankt sind. Auffallend ist, daß sich in der den Myotonikern vorhergehenden Generation mehrfach Katarakt findet, in der vierten Generation im Alter, in der fünften schon früher auftretend. In den von myotonischer Dystrophie befallenen Zweigen der Familie besteht zum Teil erhöhte Kindersterblichkeit, Häufung kinderloser Ehen und körperliche und geistige Minderwertigkeit, die den anderen Zweigen der Familie fehlen. Die Klarstellung der Vererbungsform mag durch die Vieltätigkeit des Krankheitsbildes erschwert sein. Das Auftreten bei Eltern und Kindern ohne nachweisbare Verwandtenehe spricht gegen einfach rezessive Vererbung. — Über die Erbllichkeit des angeborenen Klumpfußes berichtet *R. Fetscher*. Die Erbllichkeit des Klumpfußes an sich kann nach diesen Untersuchungen als gesichert gelten. Schwieriger ist

die Erkenntnis des Vererbungsganges. Der Verfasser sucht sie im Anschluß an Beobachtungen und theoretische Anschauungen von *Morgan* und von *Bridges* in einer unregelmäßigen Teilung der Ureier bei gleichzeitiger atypischer Spermiogenese. Diese etwas komplizierte Annahme würde gleichzeitig die auffallende Tatsache erklären, daß der Knabenüberschuß in den Klumpfußfamilien viel größer ist als normal. Freilich wird die Zahl der so zu erwartenden Klumpfußfälle von den wirklichen Geschwisterprozenten noch lange nicht erreicht, und es müßte zu der weiteren Annahme gegriffen werden, daß die Erscheinung des Klumpfußes noch von einem zweiten Merkmalspaar rezessiv abhängig sei. In solcher atypischer Oogenese und Spermiogenese will der Verfasser auch den Grund für den normalen Überschuß der Knabengeburten suchen. Der Schluß der Arbeit wird im nächsten Hefte erscheinen. — Über das Lebenswerk und den Lebenslauf *Wilhelm Schallmayers*, des ersten deutschen Vorkämpfers der Rassenhygiene, berichtet *M. von Gruber*. — Eine große Zahl kritischer Besprechungen und Referate sowie eine Zeitschriftenschau erhöhen noch den Wert dieses inhaltsreichen Heftes. *Mollison, Breslau.*

**Studies on a drained marsh soil unproductive for peas.** (*Paul S. Burgeß*, University of California Publications in Agricultural Sciences Vol. 4, Nr. 11, p. 339 bis 396, 30. Juni 1922.) Verf. hat unter Anwendung neuerer Methoden einen saueren, schweren Leimboden aus der Gegend der Meeresbucht von San Francisco untersucht, der einen geringen Gehalt an Alkalisalzen, insbesondere Sulfaten, aufwies und für den Anbau bestimmter Früchte (Erbsen) ungeeignet war. Durch Zusatz von Calciumkarbonat zu dem Boden wurde die Nitratbildung gefördert, während lösliche Phosphate und Kalisalze keinen Einfluß darauf hatten.

Auf dem Freilande, wo der die Ertragshöhe begrenzen- de Faktor das Wasser war, wurden durch Anwendung von Superphosphat (1 Tonne je Acre!) die Ernten um annähernd 25 % erhöht. Außerdem nahm die Löslichkeit des Bodenkalis, -magnesiums und -kalks in hohem Maße zu, während die Nitratbildung nur wenig beeinflusst wurde. Im Gewächshause, wo die Feuchtigkeits- und Temperaturverhältnisse sehr günstig waren, wurden größere Pflanzen erzeugt als im Freilande. Durch Anwendung von Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) wurde die Ernte um 35 % und durch Düngung mit Superphosphat um 28 % gesteigert. Gips zeigte sich ohne Einfluß, während Salpeter und Kaliumsulfat (500 Pfund je Acre) geringe Ertragsverluste verursachten.

Die Knöllchenbildung an den Wurzeln der Erbsenpflanzen wurde durch Salpeter, ebenso durch Kalk, vollkommen unterdrückt. Lösliche Phosphate förderten sie, während Kaliumsulfat und Gips wirkungslos blieben.

Der Zusatz von Salzen hat die Konzentration der wässerigen Bodenauszüge erhöht. Gips hat von allen Salzen am stärksten lösend auf das Bodenkali gewirkt; in bezug auf das Bodenmagnesium war er den anderen Salzen gleich; auf die Phosphornutzbarkeit und auf die Salpeterbildung war er wirkungslos. Calciumkarbonat hat auf die Löslichkeit aller Ionen, mit Ausnahme des Kaliums, den stärksten Einfluß ausgeübt, obwohl seine Wirkung wahrscheinlich hauptsächlich nur indirekt war. Die lösliche Calciummenge wurde vervielfacht, die Salpeterbildung und die lösliche Magnesiummenge verdreifacht, während die lösliche Kali- und Phosphormenge wenigstens um ein Drittel vermehrt wurden. Die

1) 1 Acre = 40,47 Ar.



durch Superphosphat herbeigeführte stärkere Lösung der Bodenminerale ist wahrscheinlich auf seinen Gehalt an Gips zurückzuführen. Natronsalpeter hatte nur einen geringen Einfluß auf die Wasserlöslichkeit des Bodens. Kaliumsulfat vermehrte die in Lösung gegangenen Calcium- und Magnesiummengen um ein Drittel, während die Salpeterbildung und Löslichmachung der Bodenphosphorsäure unbeeinflusst blieben. Durch Anwendung zweier Salze wurden, sowohl was die Ernten als auch die Bodenlöslichkeit anbelangt, Ergebnisse erzielt, die dem Durchschnitt der Wirkungen der Einzelsalze entsprachen. Durch Zusatz der Salze zum Boden wurde die Wasserstoffionenkonzentration vermindert; selbst durch Superphosphat wurde sie herabgedrückt. Den Säuregehalt des Bodens hält Verf. nicht für die direkte Ursache seiner Unfruchtbarkeit.

Die Unterschiede in den Untersuchungen zwischen bewachsenen und brach liegenden Böden waren nur gering. Der Hauptunterschied war der, daß die Wasserextrakte der nicht bewachsenen Böden einen Monat später die Höchstkonzentration erreichten als die bewachsenen. *Wiefmann, Berlin.*

**Ist Taxodium distichum oder Sequoia sempervirens Charakterbaum der deutschen Braunkohle?** (*B. Kurbart, Ber. d. D. Bot. Ges. 39, 1921.*) Seit längerer Zeit wurde so ziemlich allgemein angenommen, daß die Braunkohlen Mitteleuropas im wesentlichen aus dem Holze der tertiären Form von Taxodium distichum entstanden sind. Hauptsächlich auf Grund von anatomischen Untersuchungen an Braunkohlenhölzern wird aber in neuerer Zeit immer dringlicher die Meinung vertreten, daß nicht Taxodium distichum, sondern Sequoia sempervirens, in ihrer tertiären Form, die Hauptrolle bei der Braunkohlenbildung zumindest deutscher Reviere zufällt. Das Holz dieser beiden Arten ist ganz gleich gebaut, nur in der Ausbildung der Querwände ihrer Holzparenchymzellen besteht ein Unterschied. Taxodium distichum hat stark verdickte, getipfelte Querwände, Sequoia sempervirens dünne, unverdickte Querwände, ein Merkmal, das schon an nur einigermaßen gut erhaltenen Braunkohlenhölzern ohne weiteres zu erkennen ist. Eine einwandfreie Lösung dieser Frage würde das übliche Bild unserer Braunkohlenwälder ganz bedeutend verschieben, es würde aber auch dadurch so manche bisher ungelöste Frage, wie das völlige Fehlen der Taxodium-Atemwurzeln einer Klärung zugeführt werden können. Bei den bisherigen vergleichenden Untersuchungen wurde jedoch die zweite jetzt lebende Taxodiumart, Taxodium mexicanum, übergangen. Letzteres hat mit Taxodium distichum gleichen Holzbau, zumindest an jungem Holze treten aber die für Taxodium distichum so charakteristischen Verdickungen der Holzparenchymquerwände nicht in so typischer Weise auf. Das Holz von Taxodium mexicanum nähert sich also in dieser Hinsicht dem Holze von Sequoia sempervirens, und es kann daher eine Unterscheidung oft sehr schwierig werden. Eine abermalige Untersuchung der ganzen, nicht unwichtigen Frage erscheint sohin höchst wünschenswert, doch muß hierzu unbedingt altes Holz von Taxodium mexicanum verwendet werden können.

**Beiträge zur Kenntnis der Wirkung des Saponins auf die pflanzliche Zelle** (*Friedrich Boas, Ber. d. D. Bot. Ges. 38, 350—353, 1921.*) Saponin verändert den kolloidalen Zustand der Plasmahautlipide im Sinne erhöhter Permeabilität. Alkoholische Gärung wird durch Saponinzusatz gefördert; Anthocyane und Gerb-

stoffe treten unter der Saponinwirkung leichter aus. Saponin wirkt in Gegenwart von Salzlösungen zerstörend auf die Zelle ein. Die Giftwirkung der Salz-Saponin-Kombination wird z. T. durch Zugabe von anderswertigen Kationen oder durch Erhöhung des Säuregrades durch Zugabe von Säuren aufgehoben. Salze allein wirken auf die Hefezelle nach Cyotropen Anionen- und Kationenreihen auf die Änderung der Permeabilität der Hefezelle ein.

In seiner Arbeit „**The Evolution and Distribution of Race, Culture and Language**“ (*The Geographical Review 55, 1921*) geht *Griffith Taylor* davon aus, daß die Kopfform des Menschen von entscheidender Bedeutung für seine Kulturstufe ist. Er hat daher seine Beurteilung der Rassen auf den Längenbreitenindex abgestellt. Und so könnte man nach ihm in Kürze zusammenfassen, daß die kulturelle Höhe einer Rasse um so größer, je kurzköpfiger diese Rasse ist. Daß man dieser Annahme nicht unbedingt zustimmen kann, beweisen Tatsachen. Man weiß, daß z. B. die Langköpfigkeit durchaus nicht immer mit Rassenprimitivität Hand in Hand geht; Langköpfige finden sich in Europa, Asien, Afrika, Ozeanien und Amerika ebenso verteilt, und oft dicht nebeneinander, wie Kurzköpfige in denselben Erdteilen. (Es sei nur auf die Tabellen in *Martins* Lehrbuch der Anthropologie, Fischer, Jena, S. 669 ff., verwiesen.) Auf keinen Fall lassen sich Kulturgrade einzig auf die Kopfform abstellen. — Mit dieser Auffassung ist der Phantasie Tür und Tor geöffnet. Folkloristische Begriffe wie Kopfdeformationen, Totemismus, Couvade usw. (S. 79 ff.) werden mit dem fallenden oder steigenden Längenbreitenindex in Zusammenhang gebracht. — Die Studie ist auf einem großen Wissen und intensiver Arbeit aufgebaut. Sie entspricht außerdem einem aktuell über nahezu die ganze Welt verbreiteten Trieb nach Erforschung mystischer Verbindungen, von dem auch wissenschaftliche Arbeiten erfaßt werden — nicht gerade zum Vorteil ernster Forschung (vgl. „*The Lava-Flow Analogy*“ S. 105 in Verbindung mit „fossilen“ und „wandernden“ Sprachen). Man wird die Arbeit mit größtem Interesse lesen, solange man ihr kritisch und mit allen Reserven gegenüberzustehen vermag. *St. Oppenheim.*

**Volkszunahme und Nahrungszunahme.** (*Genetica Tl. 3, Abt. 5, S. 481—484, 1921.*) Kritische Betrachtungen über eine Arbeit von *Pearl* und *Kelly*, die nach dem Wachstum einer Drosophilakolonie eine Kurve konstruierten, die sie auf das Anwachsen der Völker anwenden. Es wird berechnet, daß die Vereinigten Staaten in zwei Jahrhunderten ihre Maximalbevölkerung erreicht haben werden, und zwar 66 Einwohner auf die Quadratmeile. Der Einwand, daß Belgien 673 und Niederlande 499 Einwohner auf die Quadratmeile haben, daß also noch nicht der Höhepunkt Amerikas erreicht wäre, ist hinfällig, da diese Länder Lebensmittel einführen müssen. Die Einfuhr kommt aus Amerika; es ist aber zu erwarten, daß später alle Lebensmittel bei angewachsener Bevölkerung dort im Lande selbst gebraucht werden. In den anderen Überproduktionsstaaten ist gleichfalls ein Anwachsen der Bevölkerung im Gange. Die Hauptfrage ist also: Steigerung der Produktion der Nahrungsmittel. Dies ist die Frage, die die nächste Zeit stellen wird; Rassenhygiene, Seuchen, Kriege usw. verschieben nicht das gewaltige Anwachsen der Menschen. (Vgl. dies. Ber. 4, 127.) *Collier, Frankfurt a. M.*

Berichte üb. d. ges. Physiol. u. exp. Pharmakol.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 41. (Seite 895—910)

13. Oktober 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Die Totenstarre. Von *Ernst Mangold, Freiburg i. Br.* S. 895.

Wachstum und Auflösung von Kristallen. Von *G. Masing, Berlin.* (Mit 11 Abbildungen.) S. 899.

### Besprechungen:

Ostwald, Wilhelm, Die Grundlagen der messenden Farbenlehre. Von *A. Brückner, Jena.* S. 903.

Lazarus, Adolf, Paul Ehrlich. Von *F. Pinkus Berlin.* S. 909.

Meyer, Richard, Vorlesungen über die Geschichte der Chemie. Von *I. Koppel, Berlin-Pankow.* S. 909.

Pfeiffer, Paul, Organische Molekülverbindungen. Von *A. Rosenheim, Berlin.* S. 910.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

Soeben erschien:

## Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik

Zur Einführung in das Verständnis der Relativitäts- und Gravitationstheorie

Von **Moritz Schlick**

Vierte, vermehrte und verbesserte Auflage

(VI, 108 S.) G. Z. 3.2

### Inhaltsverzeichnis:

Von Newton zu Einstein. Das spezielle Relativitätsprinzip. Die geometrische Relativität des Raumes. Die mathematische Formulierung der räumlichen Relativität. Die Untrennbarkeit von Geometrie und Physik in der Erfahrung. Die Relativität der Bewegungen und ihr Verhältnis zur Trägheit und Gravitation. Das allgemeine Relativitätspostulat und die Maßbestimmungen des Raum-Zeit-Kontinuums. Aufstellung und Bedeutung des Grundgesetzes der neuen Theorie.

Die Endlichkeit der Welt. Beziehungen zur Philosophie. Literatur.

*Die eingesetzte Grundzahl entspricht dem ungefähren Goldmarkwert und ergibt, mit dem Umrechnungsschlüssel (Entwertungsfaktor), zurzeit : 80, vervielfältigt, den Verkaufspreis.*

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**  
Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 250.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 25.—.

Sollte die im Druck- und Papiergewerbe auch weiterhin fortschreitende Teuerung, deren Ende heute noch nicht abzusehen ist, eine abermalige Erhöhung des Bezugspreises innerhalb des 4. Quartals 1922 notwendig machen, so muß sich der Verlag schon heute eine entsprechende Nachberechnung vorbehalten.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 36.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
5 10 20 30% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 2020 Julius Springer,  
Konten für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118933 Julius Springer.

Man verlange  
Listen!



### Projektions-Apparate Liesegang

Hochkerziges

## Globoscop

entwirft scharfe, helle Lichtbilder nach jedem Papierbild. An jede elektrische Lichtleitung anzuschließen.

Neue große Lichtbilder-Sammlung  
aus allen Gebieten  
für Lehr- und Vortragszwecke!

**Ed. Liesegang, Düsseldorf**  
Brieffach 124

### Die großen Handbücher



von Abderhalden, Abegg, Bredig, Dammer, Doelter, Gmelin-Krauth, Hertwig, Kollo-Wassermann, Lueger, Lunge, Muspratt, Richter, Rubner, Ullmann, Winkelmann u. a. **zur Erleichterung der Anschaffung** gegen bequeme Monats- oder Quartalsraten von (258)

**Hermann Meusser, Buchhandlung**  
Berlin W 57/9, Potsdamer Strasse 75

### Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu kaufen gesucht. Angebote unter  
Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

## Monographien aus dem Gesamtgebiet der Physiologie der Pflanzen und der Tiere

Herausgegeben von

F. Czappek, M. Gildemeister, E. Godlewski jun., C. Neuberg, J. Parnas.

Redigiert von J. Parnas.

Erster Band: **Die Wasserstoffionen-Konzentration.** Ihre Bedeutung für die Biologie und die Methoden ihrer Messung. Von Dr. **Leonor Michaelis**, a.o. Professor an der Universität Berlin. Zweite, völlig umgearbeitete Auflage. In 3 Teilen. Erster Teil: **Die theoretischen Grundlagen.** Mit 32 Textabbildungen. 1922. G. Z. 8.8, geb. G. Z. 11.3

Zweiter Band: **Die Narkose in ihrer Bedeutung für die allgemeine Physiologie.** Von **Hans Winterstein**, Professor der Physiologie und Direktor des Physiologischen Instituts der Universität Rostock i. M. Mit 7 Textabbildungen. 1919. G. Z. 10

Dritter Band: **Die biogenen Amine und ihre Bedeutung für die Physiologie und Pathologie des pflanzlichen und tierischen Stoffwechsels.** Von Dr. **M. Guggenheim.** 1920. G. Z. 12

Die eingesetzten Grundzahlen entsprechen dem ungefähren Goldmarkwert und ergeben, mit dem Umrechnungsschlüssel (Entwertungsfaktor), zurzeit: 80; vervielfältigt, den Verkaufspreis.



## Die Totenstarre.

Von Ernst Mangold, Freiburg i. Br.

Als ein sicheres Zeichen des eingetretenen Todes gilt beim Menschen die Leichen- oder Totenstarre (Rigor mortis). Sie besteht in einer fast ganz ohne Lageänderung in der nach dem Tode eingenommenen Stellung eintretenden Versteifung der Glieder und beruht allein auf einer Dauerverkürzung der Muskeln. Für diese bedeutet die Veränderung den allmählichen Übergang vom Leben zum Tode, nachdem der individuelle Tod des Menschen bereits zurückliegt. Die Muskeln werden dabei starr oder wenigstens beträchtlich härter als sonst, verlieren an Elastizität und zeigen ein weißlich getrübbtes Aussehen.

Die wissenschaftliche Erforschung der Totenstarre, ein Grenzgebiet der Physiologie, Pathologie und gerichtlichen Medizin, hat den Chemismus und Mechanismus dieser postmortalen Erscheinung aufzuklären.

Die wichtigste chemische Veränderung besteht dabei in einer Umwandlung der Kohlehydratreserven, die im Muskel als Glykogen vorhanden sind, unter Bildung von Milchsäure. Zugleich wird Wärme frei, durch die die Körpertemperatur nach dem Tode bis über 40° ansteigen kann.

Im folgenden sollen uns vorwiegend die mechanisch-physikalischen Vorgänge bei der Totenstarre beschäftigen. Von diesen sind die Verkürzung und Verhärtung der Muskeln und die dadurch bewirkte Feststellung der Gelenke schon oberflächlich der Untersuchung zugänglich: so läßt sich mit der Hand prüfen, wieweit die Gliedmaßen in den Gelenken noch beweglich sind, oder ob sie der Bewegung schon einen mehr oder minder großen Widerstand entgegensetzen. Die Zuverlässigkeit dieses Verfahrens findet, ebenso wie die Prüfung der Konsistenz der Muskeln mit den Fingern, in der subjektiven Unterscheidungsempfindlichkeit ihre Grenzen, und es ist unmöglich, den Beginn der Totenstarre eher festzustellen, als sich eine deutlich fühlbare Spannung bereits entwickelt hat. Immerhin hat man auf diese Weise schon die wichtigsten Einflüsse auf den Verlauf der Totenstarre gefunden.

Beginn, Entwicklung und Lösung der Totenstarre sind zeitlich außerordentlichen Schwankungen unterworfen, so daß man z. B. beim Menschen den Beginn der Leichenstarre schon nach 10' oder erst nach 7<sup>h</sup> feststellen kann. Ja es sind in der älteren Literatur einige Fälle beschrieben<sup>1)</sup>, in denen die menschlichen Glieder in der letzten im Leben gerade eingenommenen

Stellung erstarrten. Diese „kalaleptische Totenstarre“ soll besonders auf Schlachtfeldern beobachtet worden sein<sup>2)</sup>. Auffallend erscheint es demgegenüber, daß sich aus dem letzten Kriege, soviel ich sehe, keine derartigen Fälle mitgeteilt finden außer solchen, in denen die Beibehaltung der letzten Lebensstellung durch eine zufällige Unterstützung oder Anlehnung der Glieder rein mechanisch bedingt war<sup>3)</sup>.

Daß höchste Anspannung der Muskeltätigkeit vor dem Tode, die zu starker Säure- und Wärmebildung im Muskel führt, eine erhebliche Starrebeschleunigung herbeiführen kann, ist vom getetzten Wilde und von stark elektrisch gereizten oder strychninvergifteten Muskeln her bekannt, wie auch nach dem Tode an Starrkrampf ein unmittelbarer Beginn der Totenstarre vorkommt<sup>4)</sup>. Auch von außen zugeführte Wärme kann die Entwicklung der Totenstarre durch die Beschleunigung der ihr zugrunde liegenden chemischen Umsetzungen wesentlich fördern, wie umgekehrt Kälte sie verzögert.

Der Einfluß des Nervensystems ist auch ohne Vergiftung und willkürliche Überanstrengung der Muskeln festzustellen. Auf Grund der Beobachtung, daß die Totenstarre beim Menschen eine gewisse Reihenfolge, von den Nackenmuskeln auf die Arme und dann die Beine übergreifend, einhält (Nysten 1811), fand v. Eiselsberg<sup>5)</sup> hier eine Abhängigkeit vom Zentralnervensystem vermutend, daß ein Katzenbein nach Durchschneidung des Hüftnerven später totenstarr wird als das andere unverletzte, in dem offenbar durch das vom Zentralorgan her erfolgende Absterben der Nerven von diesen erregende, die stofflichen Umsetzungen und dadurch die Totenstarre beschleunigende Einflüsse ausgehen. Diese Beschleunigung und Verstärkung der Totenstarre durch das Nervensystem ist jedoch wohl nicht für jene Reihenfolge der Erstarrung verantwortlich zu machen, die auch beim Kaninchen schon eine andere ist als beim Menschen; jene beruht vielmehr auf dem anatomischen Bau der an den verschiedenen Gelenken beteiligten Muskeln und der viel früheren Totenstarre der weißen, flinken Muskeln im Gegensatz zu den roten sarkoplasmatischen<sup>6)</sup>. Neuerdings wurde

<sup>2)</sup> Roßbach, Virchows Archiv 51, 558.

<sup>3)</sup> Auch ich habe bei den Offensiven in Rußland nichts Ähnliches beobachtet. Falls Kollegen aus ihrer truppenärztlichen Tätigkeit sichere Beobachtungen darüber zur Verfügung stehen, wäre ich für Mitteilung dankbar.

<sup>4)</sup> A. G. Sommer 1833, s. v. Brücke, Müllers Arch. f. Anat. u. Physiol. 1842, 178.

<sup>5)</sup> v. Eiselsberg, Pflügers Arch. 24, 1881, 229.

<sup>6)</sup> Bierfreund, Pflügers Arch. 43, 1888, 195.

<sup>1)</sup> s. Hermann, Handbuch d. Physiol. I, 142, 1879.

auch ein fördernder Einfluß des Sympathicus auf die Totenstarre der Skelettmuskeln angegeben<sup>7)</sup>, von anderer Seite aber bestritten<sup>8)</sup>.

Ein völliges Ausbleiben der Totenstarre kommt unter natürlichen Verhältnissen niemals vor; nur bei ganz schlecht ernährten oder gelähmten Muskeln kann sie fast völlig fehlen (Sommer 1833).

Sie kann auch nur scheinbar rückgängig gemacht werden, indem gewaltsam der Widerstand der Gelenke überwunden und die Muskeln wieder gedehnt werden. Die inneren chemischen Umsetzungen werden dadurch nicht aufgehoben, und so tritt nachher eine wiederholte Totenstarre als Fortsetzung der ersten ein<sup>9)</sup>. Dabei haben diese Vorgänge bei der Entwicklung der Totenstarre ebensowenig wie ihre im Laufe der nächsten Tage dann spontan wieder erfolgende Lösung, durch die die Muskeln wieder weicher und die Gelenke wieder beweglich werden, mit Fäulnisprozessen irgendeinen ursächlichen Zusammenhang; dies geht aus Versuchen mit einzelnen, steril entnommenen oder mit Antisepticiis vorbehandelten Muskeln hervor<sup>10)</sup><sup>11)</sup>.

Ganz allgemein hat die Kenntnis von den die Totenstarre beeinflussenden Bedingungen durch physiologische Versuche an isolierten Muskeln von Kalt- und Warmblütern eine wesentliche Förderung erfahren. An solchen gibt zunächst die selbsttätige graphische Aufzeichnung der Starreverkürzung die Möglichkeit, diese unter den verschiedensten Bedingungen in ihrem zeitlichen und bis zu einem gewissen Grade auch ihrem quantitativen Verlauf zu verfolgen.

Daß für die an solchen dem lebenden oder getöteten Tiere entnommenen Muskeln, ebenso wie für die in situ eintretende Totenstarre, die Hauptursache in dem Aufhören der Durchblutung liegt, geht aus dem zuerst anscheinend von Swammerdam<sup>12)</sup> und später von Stannius<sup>13)</sup> angestellten sog. Stensonschen Versuch hervor, bei dem am lebenden Kaninchen 2—3<sup>h</sup> nach Abklemmung der Bauchorta eine durch erneute Durchblutung reversible „Zeitstarre“ eintritt.

Wieweit die Totenstarre am isolierten Skelettmuskel mit der allgemeinen Totenstarre der am Tierkörper verbliebenen Muskeln übereinstimmt, habe ich an Ratten und Mäusen durch besondere Versuchsreihen<sup>14)</sup> geprüft, bei denen die Totenstarre der isolierten Wadenmuskeln mittelst graphischer Registrierung am langsam rotieren-

den Kymographion verfolgt und mit der der in situ verbliebenen Muskeln verglichen wurde. Dabei ergaben sich hinsichtlich des Beginnes, des Höhepunktes und der Lösung der Starre nur geringe durchschnittliche Abweichungen, die nicht größer waren als der Unterschied zwischen einzelnen Tieren oder gleichartigen Muskelpräparaten desselben Tieres, und zum großen Teil auf die relative Unsicherheit der Beobachtung des allgemeinen Starreverlaufes im Gegensatz zur Einzelregistrierung, z. T. auch auf die Entziehung vom Einflusse des Nervensystems, bezogen werden konnten. Auch durch eine erst später nach dem Tode erfolgende Isolierung und Registrierung eines Muskels wird der Ablauf der Totenstarre nicht wesentlich verändert; wenn der Höhepunkt dann schon erreicht ist, gibt es keine Starrekurve mehr.

Die graphische Aufzeichnung der Starreverkürzung hat auch bedeutungsvolle Aufschlüsse über den Chemismus der Totenstarre ermöglicht. So hat Fletcher<sup>15)</sup> an Froschmuskeln nachweisen können, daß die Totenstarre durch Sauerstoff, der den Muskeln in der feuchten Kammer zugeleitet wurde, allgemein und selbst bei solchen Muskeln beträchtlich verzögert werden kann, die durch Strychninvergiftung oder elektrische Reizungen zur beschleunigten Totenstarre veranlaßt waren. In reinem O<sub>2</sub> kann die Totenstarre tagelang oder ganz ausbleiben, bei sehr dünnen Muskeln, die der O<sub>2</sub> auch in den innersten Teilen erreichen kann, ist dies schon an der Luft der Fall.

Auch für die Muskeln von Warmblütern wurde dann von Winterstein<sup>16)</sup> die Möglichkeit nachgewiesen, die Starreverkürzung durch O<sub>2</sub> zu verhindern oder selbst eine begonnene Starre durch O<sub>2</sub>-Wirkung zu unterbrechen. Daß hierbei die Entfernung der Milchsäure, in diesem Falle durch Oxydation, als der die Totenstarre erzeugenden Substanz, die Verhinderung der Totenstarre bedingt, konnte Winterstein<sup>17)</sup> noch dadurch nachweisen, daß er die gleiche Wirkung auch ohne Sauerstoff durch Beseitigung der Milchsäure mittelst Diffusion in Kochsalz- oder Ringerlösung erzielte.

Hiernach gibt es also doch eine Möglichkeit, die Totenstarre zu verhindern, und muß der Muskel nicht unbedingt in dieser Form absterben.

Winterstein konnte zugleich auch meine früheren Versuche<sup>18)</sup> bestätigen, in denen Muskeln von Warmblütern durch 0,9prozentige Kochsalzlösung ihre beim Absterben schon verlorene Erregbarkeit wiedergewannen. Er führt dies darauf zurück, daß die auf elektrische Reizung wieder reagierenden oberflächlichen Fasern infolge der Berührung mit dem Luftsauerstoff wohl noch

<sup>7)</sup> De Boer, Zeitschr. f. Biol. 65, 1915, 239; Arch. Néerl. de Physiol. 4, 1920, 450; v. Brücke u. Negrin y Lopez, Pflügers Arch. 166, 1917, 55.

<sup>8)</sup> Dusser de Barenne, Pflügers Arch. 166, 1916, 145.

<sup>9)</sup> Oppenheim u. Wacker, Berlin. Klin. Wochenschr. 1919, 990.

<sup>10)</sup> Bierfreund, Pflügers Arch. 43, 1888, 195.

<sup>11)</sup> Weiß u. Karpa, Pflügers Arch. 112, 1906, 199.

<sup>12)</sup> s. Hermann, Handb. d. Physiol. I, 128, 1879.

<sup>13)</sup> Stannius, Arch. f. physiol. Heilkunde 11, 1852, 21.

<sup>14)</sup> E. Mangold, Pflügers Arch. 189, 1921, 99.

<sup>15)</sup> Fletcher, Journ. of Physiol. 28, 1902, 474.

<sup>16)</sup> Winterstein, Pflügers Arch. 120, 1907, 225.

<sup>17)</sup> Winterstein, Pflügers Arch. 191, 184, 1921.

<sup>18)</sup> Mangold, Zentralbl. f. Physiol. 16, 89, 1902; Pflügers Arch. 96, 498, 1903.



nicht in Totenstarre übergegangen waren. Nun war mir jene Wiederbelebung aber auch bei Muskeln solcher Tiere gelungen, die erst nach der vollen Entwicklung der Totenstarre abgehäutet waren, so daß ein unmittelbarer Zutritt von O<sub>2</sub> nicht stattgefunden haben konnte. Jedenfalls bedurften die Fragen noch einer eingehenden Prüfung, wieweit die *Erregbarkeit*, als Lebensäußerung, mit der Totenstarre als Absterbeerscheinung vereinbar sei und ob sich die Totenstarre eines Muskels stets in allen Teilen gleichmäßig entwickelt oder nicht.

Für diese Untersuchungen eigneten sich im Gegensatz zu den Skelettmuskeln besonders solche, die nicht nur durch künstlich zugeführte, sondern auch durch spontane, selbsterzeugte Reize zu Kontraktionen veranlaßt werden können, also die rhythmisch-automatisch tätigen glatten Muskeln vegetativer Organe und der Herzmuskel.

In diesen Versuchsreihen<sup>19)</sup> wurden stets von kleinen Muskelstreifen die automatischen, zwischendurch auch die durch elektrischen Reiz auslösbaren Kontraktionen und zugleich die Verkürzung durch Totenstarre an der langsam rotierenden Trommel registriert. Auf diese Weise untersuchte ich<sup>20)</sup> die Muskulatur des Rattenmagens, Hecht<sup>21)</sup> des Froschmagens, Eckstein<sup>22)</sup> des Herzens von Warm- und Kaltblütern.

Dabei ergab sich zunächst für die *glatte Muskulatur*, für die bis dahin nur wenige Hinweise auf postmortale Starre bestanden, daß auch sie eine der der quergestreiften Muskulatur wesensgleiche Totenstarre eingeht. Dabei fasse ich die *Definition der Totenstarre* so, daß ich darunter eine in den ersten Stunden post mortem spontan einsetzende und langsam ansteigende Verkürzung verstehe, die zu einem meist viele Stunden lang bestehenden und sich danach spontan wieder lösenden Kontraktionszustande führt, der sich bei der glatten Muskulatur durch sein im allgemeinen nur einmaliges Auftreten und den langsamen Verlauf von den an überlebenden Präparaten zu beobachtenden Tonusschwankungen unterscheidet.

An der *Magenmuskulatur* erwies sich der Starreverlauf beim Warm- und Kaltblüter in seinen Hauptphasen, Beginn, Höhepunkt der Starre, und Beginn der Lösung, gegen den der Skelettmuskeln im allgemeinen verfrüht. Wie bei diesen und dem *Herzen* ist auch bei den glatten Muskeln der Zeitpunkt für diese Hauptphasen der Totenstarre bei verschiedenen Tieren, aber auch beim Vergleich der beiderseitigen gleichartigen Muskeln desselben Individuums, unter anscheinend gleichen Versuchsbedingungen,

beträchtlichen Schwankungen unterworfen. Ich sehe daher von einer Zusammenstellung der durchschnittlichen Werte hier ab und verweise auf die aus großen Versuchsreihen gewonnenen Durchschnittswerte in den Tabellen meiner angeführten Arbeiten. Auch quantitativ hinsichtlich der Verkürzungsgröße treten stets große Verschiedenheiten auf.

Über das *Verhältnis zwischen Erregbarkeit und Totenstarre* ergab sich nun aus den Versuchen zunächst am Froschmagen, daß die automatische und elektrische Erregbarkeit durchschnittlich den Beginn der Totenstarre, häufig ihren Höhepunkt und mehrfach auch den Beginn ihrer Lösung überdauert, um in einigen Fällen sogar erst mit der vollendeten Lösung der Starre zu verschwinden. Manchmal setzten mit dem Beginn der Starre die vorher völlig oder beinahe aufgehenden automatischen Bewegungen in steigendem Maße wieder ein; die zur Starre führenden chemischen Vorgänge schienen hierbei als Reiz zu wirken. Hiernach vernichtet jedenfalls der Eintritt der Totenstarre nicht die automatische oder elektrische Erregbarkeit selbst eines so kleinen Muskelindividuum, wie die verwendeten Magenstreifenpräparate es waren. Dies ließ sich sogar noch an gleichartigen Präparaten von Warmblütern (Ratte) bestätigen; obgleich deren Starrekurve bei Zimmertemperatur und einfach in feuchter Kammer registriert wurde, kam trotz dieses für die Automatie ungünstigen Verfahrens gelegentlich noch auf der Höhe der Totenstarre eine spontane Rhythmik zur Registrierung. Die Totenstarre braucht also auch *nicht die letzte vitale Kontraktion* eines Muskels zu sein, als welche sie im allgemeinen bezeichnet wird.

Die gleichen Ergebnisse wurden durch die postmortale *Registrierung am Froschherzen* erzielt, das auch während des Anstiegs, auf der Höhe und noch während der Lösung der Starre sowohl rhythmisch-automatische Bewegungen zeigen als auch durch elektrische Reize zu Kontraktionen veranlaßt werden kann. Besonders bemerkenswert trat hier die Erscheinung hervor, daß der Beginn der Totenstarre von einem gewissen Zeitpunkte an durch automatische oder elektrische Reize ausgelöst werden kann, indem der durch die Reize zu Kontraktionen angeregte Muskel die Fähigkeit verliert, nach der Verkürzung wieder vollständig zu erschlaffen, wodurch ein treppenförmiger Anstieg der Starrekurve zustande kommt. Dieser charakteristische Zustand der *Starrebereitschaft* wird wohl durch das Auftreten von Lactacidogen als Säurevorstufe bedingt, die die Starre vorbereitet und bei hinzutretender tätiger Inanspruchnahme des Muskels schnell zur Entwicklung kommen läßt.

Diese Versuche über Starrebereitschaft geben auch die Erklärung dafür, daß, abgesehen von den erwähnten Fällen der Sauerstoffeinwirkung, die Totenstarre an solchen Muskelpräparaten gelegentlich ausbleibt; die inneren Verände-

<sup>19)</sup> Mangold, Deutsche Med. Woch. 1920, Nr. 16; Deutsche Physiol. Ges. 1920; Ber. über d. ges. Physiol. 2, 1920; Pflügers Arch. 182, 1920, 205.

<sup>20)</sup> Mangold, Deutsche Med. Wochenschr. 1920; Pflügers Arch. 188, 1921, 303; Zeitschr. f. d. ges. exp. Med. 12, 1921, 288.

<sup>21)</sup> Hecht, Pflügers Arch. 182, 1920, 178.

<sup>22)</sup> Eckstein, Pflügers Arch. 181, 1920, 184.

rungen haben dann offenbar nur bis zur Starrebereitschaft geführt, für die Entwicklung der Starre fehlten aber die auslösenden Bedingungen, wie sie dann durch die automatische oder elektrische Reizung hätten gegeben werden können.

Wenn es hiernach für die glatte, Herz- und Skelettmuskulatur festgestellt war, daß entgegen der hergebrachten Anschauung *Totenstarre und Erregbarkeit eines Muskels bis zu einem gewissen Grade vereinbar sein* können, so lassen diese Tatsachen noch die wichtige Frage offen: können sich die gleichen morphologischen und funktionellen Einheiten eines Muskels (Muskelfasernzellen, -elemente, -fibrillen) gleichzeitig an der Totenstarreverkürzung und an automatischen oder auf elektrische Reizung erfolgenden Kontraktionen beteiligen?<sup>23)</sup>

Theoretisch ergaben sich für die Entwicklung der Totenstarre und für die Entstehung der ihr superponierten, durch automatische oder künstliche Reize bedingten Kontraktionen eine ganze Reihe von Möglichkeiten, je nachdem man eine maximale oder submaximale, eine totale oder nur partielle, eine in allen Teilen gleichmäßige oder ungleichmäßige Starreentwicklung annimmt. Auf Grund der vorliegenden Versuche am Herzen wie im Froschmagen zeigt sich, daß die Totenstarre plus superponierte Kontraktion keine größere Verkürzung erreicht als die maximale Kontraktion am frischen Präparat, daß also hier die Totenstarre keine maximale ist, d. h. allein nicht den nach Maßgabe der kolloidchemischen Veränderungsmöglichkeit überhaupt denkbar größten Verkürzungsgrad des Muskels erreicht. Auch sonst müßte die Totenstarre, wenn sie eine maximale wäre, zugleich eine totale sein, d. h. alle kontraktile Elemente umfassen, und zugleich eine gleichmäßige und überdies noch gleichzeitige in allen Teilen. Nun gelangt aber selbst unter weitgehendster Gleichheit der Bedingungen bei gleichartigen Muskeln und selbst benachbarten Faserbündeln ganz allgemein die Totenstarre zu ganz verschiedener Entwicklung, und es bestehen also stets quantitative und auch zeitliche Unterschiede zwischen den Elementen eines Muskels, von denen manche der Starre ganz entgehen. Die Totenstarre kann daher nie eine maximale, sondern nur eine submaximale, nicht eine gleichmäßige, sondern nur eine ungleichmäßige, verschiedengradige, nicht eine totale, sondern nur eine partielle sein. Die der Starreverkürzung superponierten, durch automatische oder künstliche Reize hervorgerufenen Kontraktionen werden dann jedenfalls in erster Linie durch die nicht in Starre befindlichen Elemente ausgeführt. Doch läßt es sich dabei keineswegs ausschließen, daß auch solche Muskelzellen oder -fasern mitwirken, die schon bis zu einem gewissen Grade

selbst an der Starreverkürzung beteiligt sind. Denn ebenso wie in einem Muskel nebeneinander Fasern vorhanden sein können, die sich bereits in Starre befinden, und solche, für die dies nicht zutrifft, so wird offenbar auch eine Muskelzelle (-faser, -element) gleichzeitig und nebeneinander Fibrillen enthalten können, von denen sich die einen in Starreverkürzung befinden, während die anderen noch erregbar und kontraktionsfähig sind. Eine Muskelzelle (-faser, -element) kann also gleichzeitig an der Totenstarre beteiligt und doch noch erregbar und kontraktionsfähig sein.

Bis dahin beschränkte sich die Erforschung der Totenstarre neben der chemischen Untersuchung fast vollkommen auf die Registrierung der Verkürzung des Muskels, wie ja überhaupt in der Physiologie eine gewisse traditionelle Neigung besteht, mit der Aufzeichnung der Längenänderungen eines Muskels die Untersuchungsmöglichkeiten seiner mechanisch-physikalischen Zustandsänderungen erschöpft zu sehen. Die *Elastizitätsveränderungen*, die zu der Bezeichnung Starre ja den Anlaß gaben, hatten keine physiologische Bearbeitung erfahren. Ich habe nun eine Methode ausgearbeitet, die für die *Messung der Eindrückbarkeit* als Maßstab für das, was man beim Muskel als Härte<sup>24)</sup> bezeichnet, ganz allgemein anwendbar ist, und dadurch in der Muskelhärte auch für die Totenstarre ein neues meßbares Kriterium gewonnen, das auch für forensisch-physiologische Zwecke, für die Verfolgung der Totenstarre und als Hilfsmittel für die Bestimmung der Todeszeit beim Menschen brauchbar sein dürfte.

Diese neue, auf dem Prinzip der statischen Sklerometrie beruhende objektive Methode<sup>25)</sup> für die Bestimmung der Eindrückbarkeit benutzt einen ausbalancierten Hebel, an dessen längerem Arm in bestimmter Entfernung von der Achse mittels eines gelenkig verbundenen Metallstäbchens eine kleine Pelotte und weiter ein Häkchen zum Aufhängen von Gewichten angebracht ist. Wird diese Vorrichtung über einem Muskel in geeigneter Weise aufgestellt, so daß die Pelotte bei horizontalem Hebel gerade der Muskeleoberfläche ohne Druck aufliegt, so kann beim Anhängen von Gewichten die jeweilige Tiefe des Eindringens bei 6facher Vergrößerung an einer hinter der Hebelspitze befindlichen Millimeterskala abgelesen werden. Mit diesem einfachen, übrigens auch am gesunden und kranken Menschen leicht anwendbaren Verfahren habe ich nun besonders bei verschiedenen Starrezuständen des Muskels die Härtezunahme an der Abnahme der Eindrückbarkeit verfolgt. In allgemein vergleichbaren Werten läßt sich dabei, indem die vor der Beeinflussung gemessenen Anfangswerte = 100

<sup>24)</sup> Mangold, Über physiologische Härtemessung, Festschr. f. Zwaardemaker, Arch. Néerl. 1922.

<sup>23)</sup> Mangold, Über den feineren Mechanismus der Totenstarre und die Erregbarkeit des totenstarren Muskels, Pflügers Arch. 182, 205, 1920.

<sup>25)</sup> Mangold, Unters. über Muskelhärte, I. Mitt. Eine allgemein anwendbare Methode zur physiologischen Härtebestimmung, Pflügers Arch. 196, 191, 1922.



gesetzt werden, die Härtezunahme in % der Anfangswerte ausdrücken.

Auf diese Weise ergibt die Härtemessung während der Entwicklung der Totenstarre<sup>26)</sup> am Kaninchenmuskel, daß 3 Stunden post mortem noch keine, wohl aber nach 7 Stunden stets eine meßbare Härtezunahme vorhanden ist, daß diese Härte dann meist noch zunimmt, 24 Stunden post mortem durchschnittlich 66,5 % zugenommen hat und bis 72 Stunden post mortem keine wesentliche Änderung oder bereits wieder eine Abnahme erfährt. Es zeigt sich weiter im Gegensatz zu bisherigen subjektiven Angaben, daß die Härte durch Wärmestarre keine deutlich höheren Grade annimmt als durch die Totenstarre, und daß daher ein auf der Höhe der Totenstarre befindlicher Muskel nicht mehr wärmestarr werden kann, soweit seine eigentliche Starre, d. h. Härtezustand, in Betracht kommt, während allerdings durch Wärme noch ein höherer Verkürzungsgrad herbeigeführt werden kann. *Verkürzung und Härtezunahme* sind hier wie unter anderen Einflüssen voneinander unabhängig. Dies scheint sich auch darin zu äußern, daß, wenigstens nach meinen bisherigen Erfahrungen, die postmortale Härtezunahme, im Gegensatz zur postmortalen Verkürzung, niemals ausbleibt. In Übereinstimmung mit diesen und weiteren Versuchen am Triceps surae des Kaninchens zeigten auch größere Versuchsreihen am Froschwadenmuskel, daß die maximale prozentische Härtezunahme bei verschiedenen Zustandsänderungen des Muskels, nämlich Totenstarre und erste und zweite Wärmestarre (Dr. Detering), ferner bei tetanischer Kontraktion bei Reizung direkt oder vom Nerven aus oder im Strychnin-Tetanus, fast vollkommen die gleiche ist, und beim Kaninchen etwa 63 %, beim Frosch etwa 54 % beträgt, während durch chemische Agentien (Dr. Inaoka), z. B. in der Chloroformstarre, noch höhere Härtegrade erreicht werden.

## Wachstum und Auflösung von Kristallen.

Von G. Masing, Berlin.

### I.

Die äußere konvex polyedrische, aus Flächen bestehende Form ist sicher die zuerst in die Augen fallende Eigenart eines Kristalles. Deshalb begann die Kristallographie auch mit der Untersuchung der äußeren Kristallformen. Man erkannte, daß die Formen nicht zufällig, sondern für die betreffenden Stoffe charakteristisch sind, und bereits Hany stellte in unmittelbarer Anlehnung an die Formen der Kristalle die erste Theorie des Kristallzustandes auf, indem er einen einfachen Kristall, etwa einen Kochsalzwürfel, sich aus Elementarbausteinen derselben Gestalt,

also aus Elementarwürfeln, zusammengesetzt dachte, die dann durch Aneinanderreihen in einer wohlgefügtten Weise die makroskopische Form des Würfels ergaben. Die primitive Annahme, daß der kleinste Baustein bereits die Form des ganzen Kristalles besitzt, sowie die gitterartige Anordnung, die diesen Elementen gegeben wurde, zeigen deutlich, wie die äußere Form gedanklich die Vorstellungen von Hany über die innere Struktur der Kristalle beherrscht.

Auch als die Vorstellungen von Hany durch Bravais modifiziert und verfeinert wurden, indem er annahm, daß die Elementarbausteine des Kristalles nur die Voraussetzungen für die *Symmetrie*, nicht aber die äußere Form des Kristalles aufweisen müssen, und daß sie ferner nicht in dichter Schachtelung den ganzen Kristall ausfüllen, wie Hany es sich vorstellte, sondern in gewissen Molekularabständen unter dem Einfluß der Molekularkräfte sich im Gleichgewicht halten, änderte sich diese Sachlage nicht wesentlich. Das Bravais'sche Raumgitter, die Anordnung der Bausteine — der *Gitterpunkte* — auf sich kreuzenden Geraden und Ebenen, die der Symmetrie des Kristalles genügen, zeigen deutlich, wie im ganzen Aufbau der Theorie die äußere polyedrische Kristallform ihre Herrschaft behauptet.

Erst später setzte die Erforschung der anderen, vorwiegend der rein physikalischen Eigenschaften der Kristalle ein. Es wurde die Optik, die Elektrizitäts- und Wärmeleitung, die Elastizität usw. untersucht, es entstand allmählich die Kristallphysik. Die Kristallphysik kam zu dem Ergebnis, daß die Eigenschaften der Kristalle im allgemeinen von der Richtung im Kristall abhängen. So hängt zum Beispiel die Elastizität eines Kristalles im allgemeinen ab von der Richtung, in der er beansprucht wird, ebenso die Elektrizitätsleitung, die Wärmeleitung usw. Die Abhängigkeit dieser *Eigenschaftsvektoren* von der Richtung konnte mathematisch genau und oft ziemlich einfach formuliert werden. Die Symmetrieachsen aller Eigenschaften sind dieselben wie die der Wachstumsformen, während der Symmetriegrad für verschiedene Eigenschaften ein verschiedener sein kann. So stellte es sich zum Beispiel heraus, daß die Wärme- und Elektrizitätsleitung von der Richtung vielfach in folgender Weise abhängen: Trägt man die Werte der Eigenschaftsvektoren von einem Punkte aus in den zugehörigen Richtungen auf, so liegen die Endpunkte aller Vektoren auf einer Ellipsoidfläche als Bezugsfläche der betreffenden Eigenschaft. Es genügt also, die Werte des Eigenschaftsvektors in den drei zueinander senkrechten Richtungen der *Hauptachsen des Ellipsoids* zu bestimmen, um das Ellipsoid konstruieren und die Größen der Vektoren in jeder beliebigen Richtung ablesen zu können. Selbstverständlich können diese Zusammenhänge auch analytisch formuliert und die Vektoren dann berechnet werden.

<sup>26)</sup> Mangold, 2. Mitt., Die Härtemessung in Totenstarre und Wärmestarre, Pflügers Arch. 196, 205, 1922.

Wenn die Verhältnisse auch nicht immer so einfach liegen, so ergab sich ganz allgemein, daß die Bezugsflächen der Eigenschaftsvektoren kontinuierlich gekrümmte Flächen sind, das heißt, daß sie allgemein einer Behandlung mit Hilfe der Differentialrechnung und speziell der *Differentialgleichungen* zugänglich sind. Mit Hilfe dieser mathematischen Hilfsmittel hat in erster Linie *Voigt* ein glänzendes Gebäude der theoretischen Kristallphysik errichtet, das in seiner logischen Abgeschlossenheit der klassischen Elektrizitätslehre *Maxwells* oder der allgemeinen Elastizitätstheorie zur Seite steht — ja jene in feiner Durchbildung zur Beherrschung der komplizierteren Probleme noch übertrifft.

Die Kristallphysik war vorwiegend phänomenologischen Charakters und frei von hypothetischen Anschauungen. Sie genügte in vollem Umfange dem formalen Ideale der theoretischen Physik der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, die Erscheinungen zu beschreiben und mit Hilfe von Differentialgleichungen miteinander zu verknüpfen. Von den Vorstellungen der Theorie des Raumgitters war sie ganz unabhängig. Sie war insofern mit der letzteren in Einklang, als die Abhängigkeit der Eigenschaften von der Richtung sich aus dem Raumgitter roh qualitativ verstehen ließ, wenn man annahm, daß die anisotropen Bausteine des Raumgitters (Atome) im Kristall gesetzmäßig orientiert sind, jedoch war es unerreichbar — und es ist bis heute nicht gelungen —, eine nähere Beziehung zwischen beiden herzustellen, etwa in der Weise, daß wir die Möglichkeit hätten, aus dem Raumgitter die Form der *Bezugsfläche einer Eigenschaft* abzuleiten.

Deshalb standen die vorwiegend phänomenologische Kristallphysik und die Raumgittertheorie, die ja in der neueren Röntgenometrie eine glänzende Bestätigung gefunden hat, einander ziemlich fremd gegenüber. Dieses Mißverhältnis, daß man die *Beschreibung der Erscheinungen* und ihre als *richtig erkannte anschaulich-molekulare Deutung* miteinander nicht in organische Verbindung zu bringen vermochte, trat besonders scharf in der Frage der äußeren Kristallformen und ihrer Entstehung, das heißt des Wachstums und der Auflösung oder der Schmelzung, auf. Die polyedrischen, aus Ebenen mit Kanten und Ecken bestehenden Kristallformen spotteten einer differentialmathematischen Behandlungsweise. Sie bildeten eine Gruppe von *physikalischen Erscheinungen*, die der allgemeinen Methode der Kristallphysik unzugänglich erschienen. Die typischste Erscheinung der Kristallwelt war bis vor kurzem auch ihre rätselhafteste Erscheinung, und erst in den letzten Jahren haben die Arbeiten von *Becke*, *Johnsen* und besonders von *Groß*<sup>1)</sup> ein neues Licht auf das Problem der Entstehung der äußeren Kristallformen geworfen.

1) Verh. d. sächs. Ak. d. W. 1918. Verfasser hat im Jahre 1917 unabhängig einige Grundlagen dieser Theorie entwickelt, ohne sie zu veröffentlichen.

## II.

Das Problem lautet in konkreterer Form: wie ist die *diskontinuierliche Kristallform* als Ergebnis eines *kontinuierlichen* Ansatzes zu verstehen? Ist dieses Problem gelöst, so ist die Anwendung der Differentialgleichungen auf die Fragen der Kristallform im Prinzip ermöglicht, es ist also im Prinzip gelungen, die Grundmethode der Kristallphysik auch auf diese Fragen auszudehnen, es ist gelungen, die Kristallformen bis zu einem gewissen Grade zu erklären.

Ansätze in dieser Richtung bestehen schon lange. Der bekannteste rührte von *P. Curie* her. *Curie* nahm an, daß die Oberflächenspannung am Kristall, ebenso wie andere Eigenschaften, in verschiedenen Richtungen verschiedene Werte (vektoriellen Charakter) hat und sich etwa durch die Radien eines Ellipsoids darstellen läßt. Er nahm dann weiter an, daß die Größe der einzelnen Flächen des Kristalls der Bedingung genügen muß, daß die gesamte Energie der Oberflächenspannung bei konstanter Masse ein Minimum ist. Auf diese Weise konnte man tatsächlich jeder Kristallfläche eine bestimmte, aber experimentell nicht kontrollierbare Oberflächenspannung zuschreiben und auf diese Weise die Kristallform „erklären“. *Tammann* wies jedoch darauf hin, daß eine polyedrische Kristallgestalt mit Ecken und Kanten niemals dem Gleichgewicht kontinuierlich verteilter Oberflächenkräfte entsprechen kann, da an den Ecken und Kanten nach innen gerichtete Kräfte auftreten müßten; auch konnte der Ansatz von *Curie* zwar über die Größe der einzelnen gegebenen Flächen und ihren Abstand vom Zentrum Auskunft geben, in keiner Weise aber über das Auftreten bestimmter Flächen und der polyedrischen Form überhaupt. Deshalb kann der Ansatz von *Curie* nicht zu einer brauchbaren Theorie des Wachstums führen.

Ferner war es bekannt, daß man aus vielen Körpern durch Spaltung wohlausgebildete Kristalle herstellen konnte, ja solche Spaltungsformen wurden für viele Zwecke wegen ihrer Regelmäßigkeit den Wachstumsformen vorgezogen. Die Spaltung ist nun eine mechanische Beanspruchung des Kristalles, die mit seinen *Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften* in enger Beziehung stehen muß. Alle diese Eigenschaften haben kontinuierliche Bezugsflächen. Es war naheliegend, anzunehmen, daß auch die Spaltbarkeit eine derartige Bezugsfläche haben muß — eine Messung der Spaltbarkeit ist bisher nicht möglich gewesen — und daß die ebenen Flächen des Spaltstückes den Maximis der Spaltbarkeit in den dazu senkrechten Richtungen entsprechen. Es war leicht einzusehen, daß dieser Ansatz zum Verständnis der ebenen Spaltflächen des Kristalls führen konnte. Die Spaltung mußte immer längs Ebenen erfolgen, die zu den Maximis senkrecht standen, weil längs diesen Ebenen der Widerstand gegen die Spaltung ein *Minimum* war.



Die Ausdehnung dieser Betrachtungsweise auf die Vorgänge der *Kristallbildung* in Schmelzen und Lösungen hatte jedoch verschiedene Schwierigkeiten. Erstens entsprachen die Wachstumsformen der Kristalle keineswegs immer den Spaltungsformen. Zweitens zeigten sie in Abhängigkeit von den Entstehungsbedingungen eine verwirrende Mannigfaltigkeit, die noch größer und unübersichtlicher wurde, wenn man die *Lösungsformen*, das heißt die Formen, die die Kristalle während der Auflösung annahmen, mit in den Kreis der Betrachtung zog. Drittens entstanden gewisse begriffliche Schwierigkeiten, auf die noch eingegangen werden wird, die bei der Betrachtung erst überwunden werden mußten.

Es ist nun das Verdienst des Mineralogen R. Groß, diese Fragen allgemein und einheitlich gelöst zu haben. Durch seine Arbeiten haben wir jetzt bereits einen summarischen Überblick über alle Probleme des Wachstums und des Abtragens der kristallinen Materie im Sinne der phänomenologischen Kristallphysik, und, angeregt durch diese Erfolge, ist heute eine experimentelle Erforschung des Gebietes in neuen Richtungen im Flusse.

Wir wollen versuchen, den Leser in die Gedankengänge von Groß in einer von der seinigen zum Teil etwas abweichenden Darstellungsweise einzuführen.

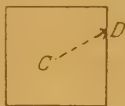


Fig. 1.

Wir betrachten einen in der Schmelze oder in der Lösung wachsenden Kristall von einer einfachen, z. B. würfelförmigen Gestalt (Fig. 1). Erfahrungsgemäß behält der Kristall, wenn er von einem punktmäßigen Kern aus wächst, seine unveränderte geometrische Gestalt. Wenn wir die Abstände der Punkte *D* der Kristalloberfläche vom gemeinsamen Ausgangspunkte *C* proportional den relativen Wachstumsgeschwindigkeiten in den entsprechenden Richtungen setzen, also die Vektoren der Wachstumsgeschwindigkeit bilden, erhalten wir in einer rein formalen Weise eine *Bezugsfläche der Wachstumsgeschwindigkeit*. Diese Fläche hat dieselbe Form wie die Kristalloberfläche und bietet deshalb der mathematischen Behandlung dieselben Schwierigkeiten wie die Kristallfläche selbst. In dieser Form sind wir also durch den rein formalen Ansatz um keinen Schritt weiter gekommen.

Es läßt sich jedoch außerdem zeigen, daß dieser Ansatz überhaupt keine allgemeine Gültigkeit hat. Es ist eine bekannte Erscheinung, daß beschädigte Kristalle oder, allgemeiner, Kristallstücke, die eine von der (unter den betreffenden Bedingungen) natürlichen Wachstumsform abweichende Gestalt haben, beim weiteren Wachs-

tum *ausheilen*, das heißt, allmählich die natürliche Form annehmen.

Wir betrachten eine aus einem Kristall künstlich hergestellte Kugel (Fig. 2). Wenn die natürliche Wachstumsform des Kristalls wieder ein Würfel ist, so kann das innerhalb des Kreises dargestellte Quadrat als Projektion der (wie oben abgeleiteten) würfelförmigen Bezugsfläche des Wachstums betrachtet werden. Wenn wir mit Hilfe dieser Bezugsfläche die Kristallformen konstruieren, die sich aus der Kugel entwickeln, indem wir von der Kugeloberfläche aus in den entsprechenden Richtungen Strecken auftragen, die den Wachstumsvektoren proportional sind, so erhalten wir gekrümmte Wachstumsformen, die zwar allmählich immer flacher, aber niemals eben werden. Das widerspricht der Erfahrung; in Wirklichkeit werden in solchen Fällen sehr schnell tadellose polyedrische Kristallformen erreicht, wie sie etwa durch das Quadrat *m* angedeutet sind. Man sieht, daß in diesem Falle die Wachstumsvektoren in den Richtungen nach den Kanten *m* hin viel größer sind, als sich aus unserer Bezugsfläche ergibt.

Mit unserem Ansatz ist also etwas nicht in Ordnung. Während er im Falle des *Weiterwachsens* einer *normalen* Wachstumsform sich bewährt, versagt er, sobald der Ausgangskörper eine andere Gestalt hat. Eine Bezugsfläche des Wachstums läßt sich also nicht ohne weiteres konstruieren, wie das etwa für die elektrische Leitfähigkeit usw. möglich ist, ohne daß man sich in Widersprüche verwickelt. Das kann nur daran liegen, daß der Ansatz fehlerhaft ist, und den Fehler können wir beim Vergleich der Fig. 1 und der Fig. 2 auch leicht finden.

Der einzige Unterschied zwischen Fig. 1 und Fig. 2 besteht darin, daß in beiden Fällen *verschieden orientierte Flächen wachsen*. Die Wachstumsgeschwindigkeit in einer bestimmten Richtung hängt also jedenfalls nicht nur von dieser Richtung ab, sondern auch von dem Winkel, den die wachsende Fläche mit der Wachstumsrichtung bildet, und von der Richtung der Normalen auf ihr.

Es scheint unter diesen Umständen nun, daß die Wachstumsgeschwindigkeit in einer bestimmten Richtung dadurch vieldeutig wird und überhaupt nicht als ein charakteristischer Vektor betrachtet werden kann. Um diese Schwierigkeit zu beseitigen, machen wir die etwas weitergehende Annahme, daß die Wachstumsgeschwindigkeit durch die Orientierung der wachsenden Fläche *eindeutig bestimmt wird*. Die Wachstumsgeschwindigkeit ist hierbei die Strecke, um die sich eine Kristallfläche in der Zeiteinheit parallel mit sich verschiebt unter Konstanterhaltung der übrigen Versuchsbedingungen wie Temperatur, Natur des Lösungsmittels usw. Dann ist im Gegensatz zu anderen physikalischen Eigenschaften die Wachstumsgeschwindigkeit in einem Punkte der Oberfläche nicht bestimmt durch die

Richtung der Verbindungsstrecke dieses Punktes mit dem Nullpunkt des durch die geometrische Gestalt des Kristalles festgelegten Koordinatensystems, sondern ausschließlich durch die Orientierung derjenigen ebenen Grenzfläche, der der Oberflächenpunkt angehört.

Die in Fig. 1 angedeutete Konstruktion der Bezugsfläche des Wachstums, die nur eine Richtung des Wachstums gegen das Achsen-system des Kristalls ins Auge faßt, nicht aber eine Orientierung der jeweils wachsenden Fläche, ist unter diesen Umständen natürlich unzulässig. Wenn ein Kristall nur Würfelflächen aufweist, so darf man sein Wachstum nur in den Richtungen senkrecht zu diesen Flächen betrachten. Die Wachstumsvektoren anderer Richtungen kommen auf diesen Flächen überhaupt nicht zur Geltung. Auf die Verhältnisse an den Kristallecken und Kanten wird später zurückzukommen sein.

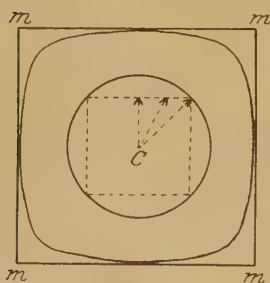


Fig. 2.

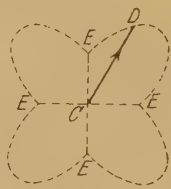


Fig. 3.

Eine Bezugsfläche des Wachstums etwa von der in Fig. 3 dargestellten Gestalt hat also folgende Bedeutung. Die gerichteten Längen der Verbindungspfeile  $CD$  vom Wachstumszentrum bis zum Durchstich durch die Bezugsfläche geben die Wachstumsgeschwindigkeiten auf den zu diesen Pfeilen senkrechten Flächen wieder. Die Richtung der Bezugsfläche in Punkt  $D$  hat mit der Richtung der mit der Geschwindigkeit  $CD$  wachsenden Fläche nichts zu tun. Hat der Kristall die Gestalt eines Würfels, besitzt er also nur Würfelflächen, so sind auch nur die Geschwindigkeiten senkrecht zu den Würfelflächen definiert ( $CE$  Fig. 3). Diese Geschwindigkeiten können nun allerdings genau in derselben Weise, wie aus Fig. 1 aus der äußeren Form des Kristalles bestimmt werden. Die zwischenliegenden Geschwindigkeiten der Fig. 3 kommen aus Mangel an entsprechenden dazu senkrechten Flächen in der Form des Kristalles überhaupt nicht zur Geltung. Wenn wir das Wachstum eines würfelförmigen Kristalles betrachten, so verträgt sich damit zunächst jede bis zu einem gewissen Grade willkürliche, auch *kontinuierliche* Form der Wachstumsfläche.

Wir wollen sehen, ob wir über diese Form auf Grund der allgemeinen Erfahrungen der Kristallographie nicht etwas Näheres aussagen können.

### III.

Zu diesem Zwecke betrachten wir etwas näher die Verhältnisse an den Ecken und Kanten des Polyeders. Da wir auf Grund verschiedener Tatsachen die Existenz einer sehr erheblichen Oberflächenspannung auch bei den festen Kristallen annehmen müssen, so finden an diesen Stellen keine mathematisch *diskontinuierlichen* Richtungsänderungen der Oberfläche statt. Vielmehr müssen wir die Ecken und Kanten als unter dem Druck der Oberflächenspannung *abgerundet* annehmen. Der Krümmungsradius ist zwar mikroskopisch, vielleicht auch ultramikroskopisch klein, aber noch sehr groß den Molekulardimensionen gegenüber, so daß man im molekularen Sinne von einer *kontinuierlichen* Richtungsänderung sprechen kann. Ist das der Fall, so sind in Wirklichkeit an den Ecken und Kanten des Polyeders alle Zwischenflächen, wenn auch in differentiellen Dimensionen vorhanden, und die entsprechenden Wachstumsvektoren müssen bei der Betrachtung der Entwicklung der Kristallform berücksichtigt werden.

Wir fragen uns nun: wie kommt es, daß ein würfelförmig kristallisierender Stoff, wenn man ihm künstlich, etwa auf mechanischem Wege, zwischenliegende Flächen erteilt, wie in Fig. 4 angedeutet, bei weiterem Wachstum wieder zu einem Würfel wird? Welchen Bedingungen müssen die Geschwindigkeitsvektoren genügen, damit das eintritt?

In derselben Zeit, in welcher sich die Würfelfläche  $a_0$  um die zu ihr senkrechte Strecke  $a_0a_1$  verschoben hat, hat sich die Fläche  $b_0$  um die Strecke  $b_0b_1$  bis zum Rudiment  $b_1$  dieser Fläche verschoben. Das Verhältnis von  $b_0b_1$  zu  $a_0a_1$  ist größer als das der Halbdiaagonale  $Cb_1$  zu  $Ca_1$ ; wenn wir eine Geschwindigkeitsfläche um  $C$  konstruieren, so muß sie jedenfalls eine derartige Form bekommen, daß der Geschwindigkeitsvektor  $Cb_2$  in der Richtung der Diagonale *außerhalb* einer durch  $a_2$  gehenden Würfelfläche  $a_2b_3a'_2$  liegt.

Allgemeiner können wir das für alle Richtungen zwischen den Würfelflächen  $a_1b_1$  und  $b_1a'_1$  beweisen. Betrachten wir eine Kristallkugel  $C$  (Fig. 5), die sich in einer gewissen Zeit zum Würfel  $a_2b_2de$  mit der zwischen  $b_2$  und  $d$  noch abgerundeten Kante auswächst. Damit im Verlauf des Wachstums eine Ausheilung des Kristalls zum Würfel stattfinden kann, muß das Wachstum in den zu den Würfelflächen senkrechten Richtungen zurückbleiben und in allen Zwischenrichtungen *voreilen*. Das Verhältnis des Abstandes  $b_1b_2$  zu  $a_1a_2$  muß größer sein als das Verhältnis der Abstände  $Cb_2$  zu  $Ca_2$  vom Zentrum  $C$  bis zu den entsprechenden Punkten der Würfelfläche: sonst würde der Wachstumspfeil  $Cb$  die Würfelebene  $a_2b_2$  nicht einholen können.

Die punktierte Geschwindigkeitsfläche  $a_2a_2b_2a'_2$  (Fig. 4) genügt dieser Forderung und ist in



diesem Sinne mit der Wachstumsform eines Würfels verträglich.

Hier erhebt sich jedoch sofort ein Einwand. Wenn ein Würfel weiterwächst, so ist es *geometrisch gegeben*, daß das zur Diagonale  $Cb$  (Fig. 4) senkrechte Flächenelement der als abgerundet gedachten Kante  $b_1$  tatsächlich mit der Geschwindigkeit  $Cb_3$  wächst, wenn die Würfel- fläche selbst mit der Geschwindigkeit  $Ca_2$  wächst. Sonst müßte sich ja bei  $b_1$  ein Pfeil verschieben, und die Form des Würfels könnte beim Wachsen nicht erhalten bleiben. Das Resultat, zu dem wir eben gekommen sind, daß der Geschwindigkeitsvektor in der *Diagonalen* größer, also etwa wie  $Cb_2$ , sein muß, scheint der alltäglichen Erfahrung zu widersprechen.

Diese Schwierigkeit wird behoben, wenn wir folgendes überlegen: Alle unsere Betrachtungen gelten für gegebene normale äußere Wachstumsbedingungen, also z. B. für konstante Temperatur und konstante *Übersättigung* der Lösung oder Schmelze. Nun ist es aber allgemein bekannt, daß die Löslichkeit eines Stoffes von seiner Dispersität, genauer von der Krümmung seiner Oberfläche abhängt, und zwar nimmt sie mit abnehmendem Krümmungsradius zu. Bei den

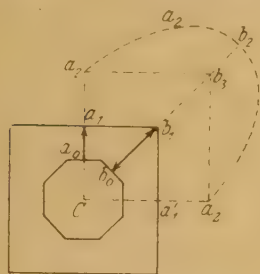


Fig. 4.

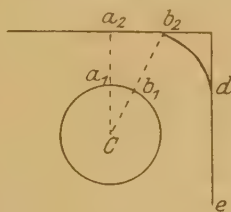


Fig. 5.

*Minima* der Wachstumsgeschwindigkeiten. Zur völligen Klärung dieses wichtigen Umstandes sei noch ein Beispiel betrachtet.

Die verletzte Kristallform  $a_1 b_1 c_1 d_1 e_1 f_1$  weise eine Reihe benachbarter Ebenen  $a_1 b_1$ ,  $b_1 c_1$ ,  $c_1 d_1$  usw. auf (Fig. 6). Die zugehörigen Geschwindigkeitsvektoren seien  $C(ab)$ ,  $C(bc)$ ,  $C(cd)$  usw. Wie wird das Wachstum eines solchen Gebildes erfolgen?

In einer Zeitspanne  $\Delta t$  verschieben sich die Ebenen  $a_1 b_1$ ,  $b_1 c_1$ ,  $c_1 d_1$  usw. um senkrechte Abstände, die den Geschwindigkeitsvektoren  $C(ab)$ ,  $C(bc)$ ,  $C(cd)$  usw. proportional sind, und es entsteht das neue Gebilde  $a_2 b_2 c_2 d_2 e_2 f_2$ . Da die Fläche  $b_1 c_1$  sich schneller verschiebt als die Fläche  $a_1 b_1$ , so folgt rein geometrisch, daß die Kante  $b_1$  beim Wachstum des Kristalles sich in der Weise verschiebt, daß die Fläche  $a_1 b_1$  auf Kosten der Fläche  $b_1 c_1$  an Ausdehnung zunimmt.

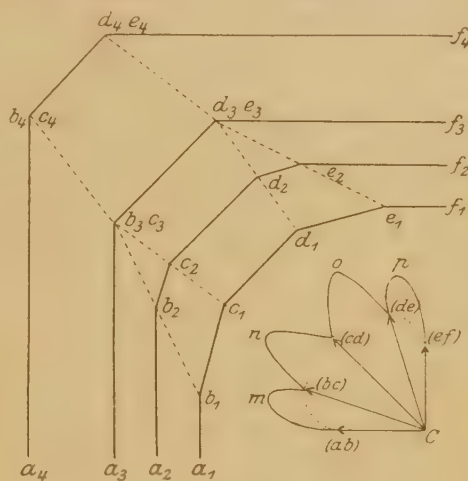


Fig. 6.

makroskopischen und meistens auch mikroskopischen Dimensionen ist dieser Einfluß verschwindend gering. Er wird jedoch bedeutend, sobald der Krümmungsradius sich *molekularen* Dimensionen zu nähern beginnt. Solche Verhältnisse herrschen nun an den Kristallkanten und -ecken. Bei der Entwicklung der Kante aus einer makroskopisch abgerundeten Form wird die Kante solange mit der normalen Geschwindigkeit  $Cb_2$  (Fig. 4) vorgetrieben, bis durch fortschreitende Ausheilung der Würfel- flächen die Krümmung derartig stark geworden ist, daß die Übersättigung geringer wird, und der Geschwindigkeitsvektor *de facto* bis auf die Länge der Würfel- diagonalen  $Cb_3$  herabsinkt. Der normale Geschwindigkeitsvektor  $Cb_2$  behält also die Bedeutung einer charakteristischen Materialkonstanten: er entzieht sich jedoch der Beobachtung an normalen Wachstumsformen wegen der an den Kanten automatisch eintretenden Änderung der Wachstumsbedingungen.

Die Verhältnisse an den Kanten und Ecken ergeben also keine Schwierigkeiten. Was die Kristallebenen betrifft, so entsprechen ihnen

Den Weg  $b_1 b_2 b_3$ , den die Kante  $b$  beim Wachsen des Kristalles zurücklegt, nennt *Groß* die Grat- fläche resp. Gratlinie (bei einer Ecke). Die Wachstumsgeschwindigkeiten der Flächen  $b_1 c_1$  und  $c_1 d_1$  unterscheiden sich nicht wesentlich voneinander; dementsprechend weicht die (senkrecht zum Papier gedachte) Gratfläche  $c_1 c_2 c_3$  nicht viel von der Halbierenden des Winkels  $b_1 c_1 d_1$  ab. Die höhere Wachstumsgeschwindigkeit der Fläche  $b_1 c_1$  führt also rein geometrisch zu ihrem Verschwinden. Aus der Figur ist ersichtlich, daß beim Erreichen der Niveaufläche  $a_3 b_3 c_3 d_3 e_3 f_3$  die Flächen  $b_1 c_1$  und  $d_1 e_1$  bereits auf eine (zur Zeichnung senkrechte) Kante  $b_3 (c_3 d_3) e_3$  zusammengeschrunpft sind.

Während die Fläche  $c_1 d_1$  sich den Nachbarflächen  $b_1 c_1$  und  $d_1 e_1$  gegenüber behaupten konnte, so daß sie von  $c_1 d_1$  bis  $c_3 d_3$  sogar an Ausdehnung etwas gewonnen hat, ändert sich die Sachlage, sobald sie hinter der Niveaufläche  $a_3 b_3 c_3 d_3 e_3 f_3$  in die Nachbarschaft der Flächen  $a_1 b_1$  und  $e_1 f_1$  kommt, die vermöge ihrer *geringeren* Geschwindigkeitsvektoren ein *viel größeres* Ausdehnungsbestreben besitzen. Jetzt nimmt die Fläche  $c_1 d_1$  an Aus-

dehnung ab und muß beim Fortwachsen des Kristalls zuletzt verschwinden.

Allgemeiner können wir sagen, daß von zwei Flächen benachbarter Orientierung diejenige auf Kosten der anderen beim Wachsen des Kristalls stets zunehmen muß, die einen geringeren Geschwindigkeitsvektor hat. Die *wachstumsfähigen Flächen entsprechen allgemein den minimalen Wachstumsvektoren*. Wenn wir auch alle geometrisch möglichen Zwischenflächen berücksichtigen, erhalten wir kontinuierliche Geschwindigkeitsflächen des Wachstums, wie die gestrichelte Kurve  $(ab)(bc)(cd)(de)(ef)$  in Fig. 6 andeutet, bei denen die wachstumsbeständigen Flächen  $ab$  und  $ef$  den Minimis  $(ab)$  und  $(ef)$  entsprechen. Es kann aber auch vorkommen, daß die Flächen  $bc$ ,  $cd$  und  $de$  sich beim Wachstum von einer beispielsweise kugelförmigen Gestalt ausgehend vorübergehend entwickeln. In einem solchen Fall sind diese Flächen zwar nach wie vor unbeständiger als die Flächen  $ab$  und  $ef$ , aber beständiger als unmittelbar benachbarte Flächenrichtungen. Da sie sich auf Kosten dieser entwickeln, so müssen sie auch geringere Wachstumsgeschwindigkeiten haben als diese. Das heißt, ihnen entsprechen partielle Minima der Wachstumsgeschwindigkeit, und die Geschwindigkeitsfläche hat etwa die Gestalt  $(ab)m(bc)n(ed)o(de)p(ef)$  (Fig. 6), mit den den Flächen entsprechenden Minimis und den dazwischenliegenden Maximis.

Wir haben nun unseren Ansatz allgemein und prinzipiell durchgeführt. Es ist uns gelungen, die *diskontinuierlichen* Kristallformen durch einen *kontinuierlichen* Geschwindigkeitsansatz zu erklären. Bezüglich der Wachstumsflächen und der zwischenliegenden Richtungen sind wir zu gewissen Minimum- und Maximumbedingungen gelangt, denen die Geschwindigkeitsvektoren genügen müssen. — Es sei nun noch betont, daß die Geschwindigkeitsfläche des Wachstums kein theoretisches Wahngelbilde ist, sondern einer direkten experimentellen Bestimmung zugänglich ist. Man braucht ja nur beliebige Flächen am Kristall herzustellen und die senkrechten Verschiebungen der Flächen zu messen. Die bisherigen Beobachtungen haben die Forderungen der Theorie auf das glänzendste bestätigt. Die Bezugsflächen des Wachstums sind heute keine Spekulationen mehr, sondern *experimentelle Befunde*.

#### IV.

Es sind jedoch noch einige Schwierigkeiten zu überwinden und Einwände zu beseitigen. Ist die Geschwindigkeitsfläche für den Stoff charakteristisch, so ist zu erwarten, daß der Stoff immer in der einen, durch diese Fläche vorgeschriebenen Form kristallisieren wird. Wie eingangs bereits angedeutet, ist das durchaus nicht der Fall. Die Wachstumsformen vieler Kristalle sind außerordentlich mannigfaltig, sie treten bald als flächenreiche Kombinationen, bald als ein-

fache Formen auf, wobei alle diese Formen nur der einen Bedingung genügen, daß sie dieselbe Symmetrie besitzen. So kristallisiert Kochsalz aus reinem Wasser in Würfelform, und aus wässrigen Harnstofflösungen je nach der Konzentration des Harnstoffs in Oktaedern oder in Kombinationen des Würfels mit dem Oktaeder. Auch ist es allgemein bekannt, daß bei geringeren Unterkühlungs- oder Übersättigungsgraden flächenreichere Kristalle entstehen als bei größeren. Unter diesen Umständen kann es fraglich erscheinen, ob es überhaupt noch einen Sinn hat, von Geschwindigkeitsflächen als Charakteristiken des Stoffes zu reden.

Dieser Einwand läßt sich heute nicht ganz beheben. Zum Teil lassen sich die Schwankungen der beobachteten Formen und damit der Geschwindigkeitsflächen auf einfache physikalische Einflüsse zurückführen, als welche Wärme- und Diffusionsströmungen zu nennen sind. Zu einem großen Teil treten aber Beeinflussungen der Form auf, die sich nicht so leicht deuten lassen: als eine solche ist vor allen Dingen der Einfluß des Lösungsmittels und der Lösungsgenossen zu nennen. Nun spielt sich der Vorgang des Kristallwachstums an der Grenze zwischen Lösung oder Schmelze und Kristall ab, und beide sind an ihm beteiligt. Deshalb ist es wohl denkbar, daß auch beide von Einfluß auf den Vorgang sind. Über die näheren Ursachen des Einflusses des Lösungsmittels sind wir aber so gut wie gar nicht unterrichtet.

Die durch diesen Umstand hervorgerufene Unsicherheit in der Deutung wird durch folgenden Umstand erheblich herabgesetzt. *Groß* hat die Vermutung ausgesprochen, und alle bisherigen Beobachtungen haben sie bestätigt, daß durch äußere Umstände zwar die Tiefe der verschiedenen Minima der Wachstumsgeschwindigkeit verändert werden kann, daß also partielle Minima zu totalen und umgekehrt werden können, daß aber niemals ein Minimum verschwinden oder ein neues entstehen kann. Bei dem heutigen Stande unserer Kenntnisse müssen wir also in erster Linie die *Zahl* und die *Orientierung* der Geschwindigkeitsminima als für einen Stoff charakteristisch ansehen.

Hieraus ergibt sich eine wichtige Konsequenz. Wir haben schon bemerkt, daß die Form der Kristalle eines Körpers außerordentlich mannigfaltig sein kann. Ja, nach den heutigen Erfahrungen kann man sagen, daß bei einem Kristall durch geeignete Maßnahmen so gut wie alle kristallographisch möglichen, mit der Symmetrie verträglichen Ebenen sich herstellen lassen. Diesen Ebenen entsprechen aber nach einem bekannten Gesetz der Kristallographie einfache ganzzahlige Indizes<sup>1)</sup>, und es sind *Gitterebenen*, das heißt, sie sind unter der Gesamtheit der Schnittebenen durch ein Raumgitter mit Gitterpunkten besonders dicht besetzt. Diesen Ebe-



nen entsprechen nun Minima des Geschwindigkeitsvektors. Hieraus folgt, daß seine Maxima niemals in eine kristallographisch einfach ausgezeichnete Richtung fallen können, sondern daß sie senkrecht zu Ebenen mit irrationalen oder sehr großen Indizes stehen müssen. Daraus folgt, daß jede Geschwindigkeitsfläche, auch die eines Körpers mit einfacher Gestalt, zahlreiche Minima mit dazwischenliegenden Maximis aufweisen muß, also sehr kompliziert sein muß.

Auch dieses Resultat, das das Vertrauen zur Theorie erschüttern könnte, ist bereits experimentell bestätigt worden.

Wenn so die Wachstumstheorie in ihren wesentlichen Folgerungen bereits auch experimentell gut fundiert erscheint, so hat sie andererseits interessante Ausblicke auf die Nachbargebiete der Kristallauflösung, Atzfigurenbildung und des Wachstums konkaver Formen ermöglicht, wodurch größere Reihen von Erscheinungen einheitlich zusammengefaßt werden und zum Teil neue Erscheinungen vorausgesagt werden konnten. Auf diese Erscheinungen soll im weiteren näher eingegangen werden. Hier wollen wir noch einige Worte über die physikalische Bedeutung der von uns gemachten Annahmen und Ansätze sagen.

Groß neigt dazu, ihnen die Bedeutung von rein geometrischen Ansätzen zuzuschreiben. Demgegenüber vertritt Verfasser die Ansicht, daß ihnen auch ein physikalischer Gehalt innewohnt. Unsere Grundannahme besteht darin, daß die Wachstumsgeschwindigkeit des Kristalles durch die Orientierung der wachsenden Flächen bestimmt ist. Das ist zweifellos eine physikalische Aussage, die durchaus nicht formal und selbstverständlich ist. Im Gegenteil, sie hat auf den ersten Blick manches physikalisch Befremdende und bildet nach Erfahrungen des Verfassers oft für den Fernerstehenden eine Schwierigkeit beim Eindringen in die Gedankengänge der Theorie. Betrachten wir die Verhältnisse etwas genauer. Es seien zwei Flächen  $a_1b_1$  und  $b_1c_1$  mit den senkrechten Geschwindigkeiten  $(ab)$  und  $(bc)$  im Wachstum begriffen (Fig. 7). Da die Fläche  $a_1b_1$  bedeutend schneller wächst als  $b_1c_1$ , wird sie von der letzteren rapide aufgezehrt. Was bedeutet das? — Das molekulare Kristallgerüst, das an der Fläche  $a_1b_1$  die *physikalische Fähigkeit* besitzt, mit einer Geschwindigkeit  $(ab)$  senkrecht zu  $a_1b_1$  zu wachsen, verliert diese Fähigkeit, ohne seine eigene Orientierung und Struktur zu ändern, bloß weil die Richtung der Fläche sich etwas ändert. Das heißt, daß das Wachstumsbestreben keine innere Eigenschaft des Kristallgefüges ist, sondern seinen Sitz an der Oberfläche des Kristalles hat, und sich in dieser Be-

ziehung ganz grundsätzlich von den inneren physikalischen Eigenschaften, wie elektrische Leitfähigkeit, Wärmeleitvermögen usw. unterscheidet. Auch die Erzeugung von Spaltungsflächen, die ja zuweilen zu den gleichen Formen wie das Wachstum führt, ist von letzteren grundsätzlich verschieden. Bei der Spaltung wird die Richtung der entstehenden Fläche durch die innere physikalische Eigenschaft der vektoriell verteilten molekularen Kohäsion bestimmt. Beim Wachstum bestimmt umgekehrt die (bereits vorhandene) Fläche den Geschwindigkeitsvektor.

Man kann zugeben, daß dieses Verhalten physikalisch naheliegend ist, da ja der Wachstumsvorgang tatsächlich an der Oberfläche stattfindet. Das ändert jedoch nichts daran, daß diese Feststellung eine physikalische Aussage ist und bei dem Versuch, eine genauere Vorstellung des Wachstumsvorganges zu gewinnen, berücksichtigt werden muß.

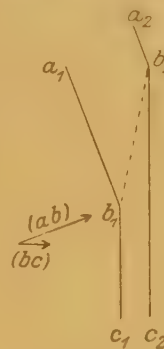


Fig. 7.

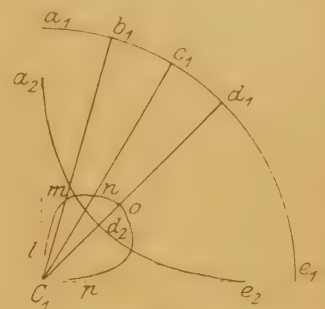


Fig. 8.

Der weitere Ansatz, daß die Wachstumsgeschwindigkeit senkrecht zu der durch Wachstum sich verschiebenden Fläche betrachtet werden soll, ist rein formalen Charakters und hat keinen physikalischen Gehalt.

## V.

Im engsten Zusammenhang mit der Form und der Wachstumsgeschwindigkeit ist die Frage nach der *Löslichkeit* verschiedener — künstlicher und natürlicher — Flächen am Kristall. Diese Frage haben die verschiedenen Forscher oft verschieden beantwortet. Heute, besonders nach den sehr genauen Löslichkeitsmessungen an verschiedenen Flächen des Alauns von Valetton, neigt man zur Ansicht, daß die Löslichkeit von der Richtung der Begrenzungsfläche des Kristalles nicht abhängt. In der gesättigten Lösung hat keine Fläche die Neigung, auf Kosten einer anderen zu wachsen, jede willkürliche Form ist eine Gleichgewichtsform. Kristallformen sind also nicht als Gleichgewichtsformen zu verstehen, sondern kinetisch aus den Geschwindigkeitsflächen. Die Richtigkeit dieser Ansicht ist zwar noch nicht allgemein und streng bewiesen, wir wollen sie aber akzeptieren, da sie insbesondere durch folgende Tatsache gestützt wird. Die Lösungs-

<sup>1)</sup> Unter Indizes werden bekanntlich die Verhältnisse der reziproken Achsenabstände einer Ebene verstanden.

geschwindigkeiten verschiedener Flächen stehen in einem direkten Verhältnis zu den Wachstumsgeschwindigkeiten, für die Lösungsgeschwindigkeiten gilt qualitativ dieselbe Geschwindigkeitsfläche wie für das Wachstum, mit denselben Richtungen der Maxima und Minima. Diese Tatsache verträgt sich nicht mit der Annahme, daß die Unterschiede in den Wachstumsgeschwindigkeiten in verschiedenen Richtungen durch die Kräfte bestimmt werden, mit denen der Kristall die Bausteine (Moleküle) aus der Schmelze oder Lösung an sich heranzieht. Denn eine stärkere Attraktion würde die Auflösung in den den maximalen Wachstumsgeschwindigkeiten entgegengesetzten Richtungen erschweren und zu einem Minimum statt zu einem Maximum der Lösungsgeschwindigkeit führen. Die Unterschiede in den Wachstums- und Lösungsgeschwindigkeiten müssen also rein kinetisch durch Unterschiede der molekularen Beweglichkeit in verschiedenen Richtungen gedeutet werden. Eine Annahme verschiedener Attraktionen gegen die gelösten oder geschmolzenen Moleküle an den verschiedenen Flächen, die zur Erklärung verschiedener Löslichkeit wohl unerlässlich wäre, wird durch die Verhältnisse beim Wachstum und bei der Auflösung nicht gestützt.

Wir wollen nun untersuchen, was für Konsequenzen bezüglich der Lösungsformen der Kristalle sich aus dem Verhältnis der Lösungsgeschwindigkeiten zu den Wachstumsgeschwindigkeiten ergeben. Dazu betrachten wir einen Quadranten der aus dem Kristall hergestellten Kugel  $a_1b_1c_1d_1e_1$  (Fig. 8), die in einer schwach untersättigten Lösung dem Auflösungs Vorgang unterworfen sei. Die Geschwindigkeitsfläche der Auflösung sei  $lmnop$ . Da der Auflösungsvektor in der Richtung  $d_1oC_1$  ein Maximum hat, so wird sich die Kugel in dieser Richtung abflachen. Im Gegenteil, an den Stellen der geringsten Lösungsgeschwindigkeit bleibt die Auflösung zurück, es bildet sich ein Auflösungsgrat. Im Gegensatz zu den Verhältnissen beim Wachstum entwickeln sich also bei der Auflösung konvexer Formen die Flächen in den Richtungen senkrecht zu den Maximis der Geschwindigkeitsvektoren, und in Richtung der Minima liegen die Kanten und Ecken. Durch Auflösung konvexer Körper können also niemals dieselben Kristallformen entstehen wie durch Wachstum, beide Formen sind zueinander komplementär.

Wenn man auf Fig. 8 von den Punkten  $d_1$  und  $a_1$  nach dem Inneren der Kugel Strecken aufträgt, die proportional den zugehörigen Wachstumsvektoren der Fläche  $lmnop$  sind, so sieht man, daß man infolge des starken Zurückbleibens der Auflösung in Richtung des Minimums  $a_1a_2$  nach einer gewissen Zeit zu einer durch die Kurve  $a_2d_2e_2$  ganz schematisch dargestellten konkaven Form gelangen müßte. Das tritt niemals ein<sup>1)</sup>, und zwar treten an der Ecke oder Kante  $a_2$  dieselben Oberflächen-

kräfte auf, die beim Wachstum das Hervorschießen der Ecken und Kanten verhindern. In diesem Falle erhöhen sie die Auflösungsgeschwindigkeit in der Richtung  $a_1C_1$ , indem die Untersättigung der leichter löslichen Kante  $a$  größer ist als auf der übrigen Fläche des Kristalles. Auf diese Weise wird die Entstehung konkaver Formen verhindert. Gleichzeitig sehen wir, daß man infolge dieser Erhöhung der Lösungsgeschwindigkeit durch äußere Kräfte in den Richtungen der Minima der Auflösung die Geschwindigkeitsvektoren ebenso wenig verfolgen kann, wie die maximalen Vektoren an einem wachsenden Kristall. Die wirkliche Kristallfläche wird also nicht  $a_2d_2e_2$  oder eine ähnliche sein können.

Bei aller Ähnlichkeit des Wachstums- und Lösungsvorganges treten zwischen den Wachstums- und Lösungsformen Unterschiede auf, die der Deutung bedürfen.

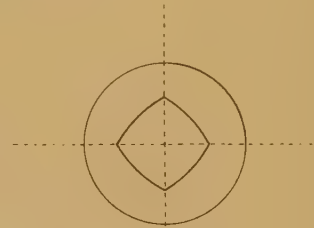


Fig. 9.

Während beim Wachstum einer Kugel zuerst die zu den Minimis senkrechten Flächen sich zu vollkommen ebener Form entwickeln, noch lange ehe sich die spitzen Ecken und Kanten entwickelt haben (siehe z. B. Fig. 5), spitzen sich bei der Auflösung umgekehrt die Kanten und Ecken zu scharfen Graten zu, noch lange ehe die entstehenden Flächen eben geworden sind. Ja, die Neigung der ursprünglich abgerundeten konvexen Formen, bei der Lösung sich in den Richtungen der Maxima abzuflachen, ist so gering und die Abplattung geht so langsam vonstatten, daß man in der Mehrzahl der Fälle nicht ebene, sondern konvex gekrümmte Lösungsformen mit zugespitzten Ecken und Kanten beobachtet. Ein schematisches Beispiel dafür gibt Fig. 9. Wie ist dieses Verhalten zu erklären?

Zur Erklärung braucht man nach *Groß* nur anzunehmen, daß, während die Minima der Geschwindigkeitsfläche sehr steil, die Maxima umgekehrt sehr flach sind. Ist ein Minimum steil, so heißt das, daß die Geschwindigkeit in den benachbarten Richtungen sehr schnell anwächst. Beim Wachsen einer konvexen Form (Kugelfläche) werden deshalb die der Richtung des Minimums benachbarten Elemente viel schneller als in der Richtung des Minimums wachsen,

<sup>1)</sup> Aus einer konvexen Ausgangsform kann allgemein weder durch normales Wachsen, noch durch Auflösung eine konkave entstehen.



und die ursprünglich konvexe Fläche schnell zu einer Ebene abplatteten. Bei der Auflösung werden die zur Minimumrichtung senkrechten Elemente der ursprünglichen Kugeloberfläche hinter den Nachbarn stark zurückbleiben und so schnell zur Bildung scharfer Ecken und Kanten führen. Da die zur Maximumsrichtung benachbarten Richtungen beim Wachstum umgekehrt nur wenig zurückbleiben, so findet die Zuspitzung der Kanten und Ecken erst nach vollendeter Ebenenbildung statt. Bei der Auflösung werden diese Nachbarelemente auch nur wenig zurückbleiben, und die konvex-krummlinige Gestalt der Lösungsflächen wird lange erhalten bleiben.

Durch systematische und konsequente Übertragung der Ansätze auf den Vorgang des Abbaus der Kristalle ist es uns also gelungen, die von den Wachstumsformen so auffallend abweichenden Lösungsformen einheitlich zu deuten. Wir mußten hierzu unsere Ansätze (hinsichtlich der Maxima und Minima) präzisieren. Soweit Erfahrungen an konvexen Formen vorliegen, müssen diese Ansätze als bestätigt gelten. Aber unabhängig davon erhalten sie eine glänzende und auf den ersten Blick höchst überraschende Bestätigung durch die Übertragung auf *konkave* Wachstums- und Lösungsformen.

## VI.

Wir sahen, daß Kristallstücke konvexer Gestalt sowohl beim Wachsen wie bei der Auflösung polyedrischen Gebilden mit ebenen Begrenzungsflächen zustreben. Eine ebene Oberfläche ist sowohl beim Wachstum wie bei der Auflösung stets eine stabile Begrenzungsform, die sich zu erhalten strebt. Wie mit unseren Ansätzen leicht zu zeigen ist, liegt für eine solche Oberfläche — ganz abgesehen von den Kanten und Ecken — niemals eine Veranlassung zur Richtungsänderung oder zur Bildung einer krummen Oberfläche vor. Wenn daher ein konvexes Oberflächenstück, wie wir es bisher betrachtet haben, sich zu einem Stück einer Ebene umgebildet hat, so findet die Umbildung der Form — immer abgesehen von anderen Ebenen und Kanten — damit ihren Abschluß. Im Verlauf des Wachstums oder der Auflösung kann aus einer konvexen niemals über die Ebene hinweg eine konkave Form entstehen.

Wenn konkave Formen so niemals auf „natürlichem“ Wege entstehen können, so hindert uns nichts, eine konkave Form künstlich zu erzeugen und an ihr den Vorgang der Auflösung oder des Wachstums zu verfolgen.

Nehmen wir z. B. an, daß wir aus einem Kristall mit würfelförmiger Wachstumsfläche einen Körper mit einem kugelförmigen Hohlraum hergestellt haben. Um diesen Hohlraum in Wirklichkeit der Beobachtung zugänglich zu machen und die notwendige Diffusion zu ermöglichen, beschränkt man sich in praxi auf Teile einer solchen Kugel, doch ist das hier ohne Belang. In Fig. 10 ist ein Kristall mit einem kugelförmigen Hohlraum *abcdefgh* abgebildet. Von

diesem Hohlraum aus soll die Auflösung mit den durch die Geschwindigkeitsfläche *mnopqrst* gegebenen Geschwindigkeiten erfolgen, wobei der Hohlraum naturgemäß wachsen muß.

Durch Betrachtungen, die sich in keiner Weise von denen unterscheiden, mit deren Hilfe wir das Wachstum einer Kristallkugel betrachtet hatten, kommen wir zum Ergebnis, daß in den zu den *Minimis* der Geschwindigkeitsfläche senkrechten Richtungen zunächst Lösungsebenen entstehen, und dann in den Richtungen der *Maxima* allmählich sich konkave Ecken und Kanten entwickeln. Bei der Betrachtung des Auflösungsvorganges an konvexen Formen hatten wir umgekehrt gesehen, daß in den Richtungen der *Minima* Ecken und Kanten (Grate) und in den zu den *Maxima* senkrechten Richtungen die Flächen entstehen. Wenn wir also statt einer konvexen eine konkave Ausgangsform zur Auflösung bringen, so ändern sich dadurch die entstehenden

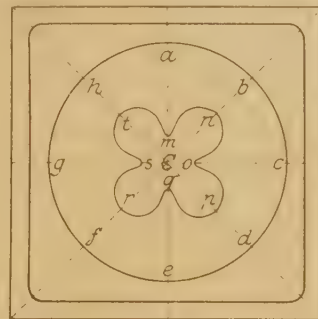


Fig. 10.

Formen ganz grundsätzlich, ja sie verhalten sich zueinander in einer ähnlichen Weise komplementär wie die Wachstums- und Lösungsformen konvexer Gebilde. Ja, wir können noch weitergehen. Wenn wir die Fig. 10 betrachten, so sehen wir ohne weiteres, daß sie sich in genau gleicher Weise für die Auflösung einer konkaven Form mit einem kugelförmigen Hohlraum und für das Wachstum der konvexen Kugel *abcdefgh* verwenden läßt, vorausgesetzt, daß die Wachstums- und Lösungsgeschwindigkeitsfläche dieselbe Gestalt haben. Das ist auch verständlich, da unsere Überlegungen rein geometrisch formal waren. Die Gleichheit oder, allgemeiner, geometrische Ähnlichkeit der Wachstums- und Lösungsgeschwindigkeitsflächen vorausgesetzt, können wir sagen, daß der Charakter der entstehenden Form unabhängig davon ist, ob sie durch Wachstum oder Auflösung entsteht, sondern lediglich dadurch bestimmt wird, ob die Oberfläche im Verlaufe des Vorganges vom Bezugszentrum *C* weg oder auf diesen zu wandert. Der erste Fall ergibt das Wachstum einer konvexen und die Auflösung einer konkaven Form und ist von uns bereits betrachtet worden. Der zweite entspricht der Auflösung einer konvexen und dem Wachstum einer konkaven Form. Die Gültigkeit dieser Feststellung auch für diesen Fall kann leicht festgestellt werden.

Diese Betrachtungen ergeben uns nun die Möglichkeit, den Vorgang der Korrosion oder *Ätzfigurenbildung* zu deuten. Es ist bekannt, daß, wenn ein Lösungsmittel eine natürliche Wachstumsfläche angreift, der Stoff zunächst nicht gleichmäßig abgetragen wird, sondern daß stellenweise Vertiefungen von polyedrischer Begrenzung entstehen, deren Symmetrie der Symmetrie des Kristalles entspricht und die als Ätzfiguren bezeichnet werden. Zur Erklärung ihrer lokalen Entstehung nimmt man *Fehler* der Oberfläche an und als solche (nach Vorgang von *Groß*) Haarrisse. Ein solcher ist stark vergrößert in Fig. 11 dargestellt. Der Lösungsvorgang wird, abgesehen vom gleichmäßigen Abtragen der Fläche *ae*, zunächst ausschließlich an den Punkten *b* und *d* einsetzen, da bei *c* wegen der Enge des Haarrisses der Abtransport des gelösten Stoffes stocken wird. Bei *b* und *d* haben wir aber konvexe Lösungsformen. Dementsprechend werden sich an dieser Stelle zunächst die Flächen der maximalen Lösungsgeschwindigkeit entwickeln. Das sind die *primären Ätzflächen*. So-

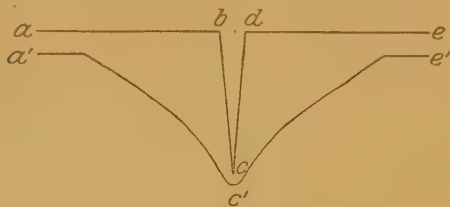


Fig. 11.

bald jedoch der Riß durch den Vorgang der Auflösung aufgeweitet ist und etwa das Stadium *a'c'e'* erreicht ist, wird im weiteren der konkave Charakter in der Nähe von *c* in Wirkung treten, und es werden sich neben diesen Flächen in steigendem Maße sekundäre Ätzflächen entwickeln, die zu den Minimumvektoren der Lösungsgeschwindigkeit senkrecht stehen. Auch diese Voraussagen der Theorie entsprechen den Erfahrungen.

Auf weitere Erscheinungen wollen wir nicht eingehen und ebenso darauf verzichten, die experimentellen Gestalten der Lösungs- und Wachstumsgeschwindigkeitsflächen näher zu beschreiben. Bei unserer Darstellung haben wir uns auf das Prinzipielle beschränkt und die Erscheinungen primitiv schematisch behandelt. Es ist schon erwähnt worden, daß die wirklichen Formen der Geschwindigkeitsflächen viel komplizierter als die von uns benutzten sind.

Physikalisch muß der Wachstumsvorgang sehr kompliziert sein. Das ergibt sich einerseits aus der Wechselwirkung zweier Phasen — der kristallinen und isotropen —, die daran beteiligt sind, und ferner daraus, daß wir gegenwärtig gezwungen sind, an der Oberfläche der Kristalle Störungsschichten anzunehmen, in denen die Gittereigenschaften bis zu einem gewissen Grade

unterdrückt sind. Deshalb stößt eine molekularkinetische Theorie des Wachstums und der Auflösung auf große Schwierigkeiten.

Was jedoch als erreicht betrachtet werden kann, das ist eine einheitliche, phänomenologisch abgeschlossene und von jeder speziellen Hypothese unabhängige Theorie des Kristallwachstums und der Kristallauflösung auf Grund von kontinuierlichen Richtungsansätzen.

### Besprechungen<sup>1)</sup>.

**Ostwald, Wilhelm, Die Grundlagen der messenden Farbenlehre.** Sonderabdruck aus der „Zeitschrift für technische Physik“ 1920, Nr. 9 und 12, 1921 Nr. 6. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1921. 24 S. Preis M. 8,—.

Je nachdem die physikalische oder die psychologische Seite, die als Reiz und Empfindung unterschieden werden, bei der Behandlung der Probleme, die das Farbensehen bietet, in den Vordergrund gestellt wurden, ist auch die Lehre vom Farbensinn überwiegend physikalisch oder psychologisch behandelt worden. Es sei hier an die bekannten Gegensätze *Newton—Goethe* und *Helmholtz—Hering* erinnert.

In den letzten Jahren hat sich *Wilhelm Ostwald* in eingehender Weise mit der Farbenlehre beschäftigt. Ein Band seines auf 5 Bücher veranschlagten Werkes ist kürzlich hier besprochen worden (siehe diese Zeitschrift 1922 S. 503). In der vorliegenden Abhandlung sucht *Ostwald* den Physikern die Grundlagen seiner Farbenlehre näherzubringen. In dem Rahmen einer kurzen Besprechung ist es natürlich nicht möglich, den Standpunkt, den *Ostwald* vertritt, im ganzen Umfange zur Darstellung zu bringen. Der Grundgedanke, den er hier entwickelt, läßt sich dahin zusammenfassen, daß eine genaue Festlegung der Farben nach Maß und Zahl angestrebt wird. Bei Betonung der physikalischen Voraussetzungen des Farbensehens werden aber hierbei auch die sinnesphysiologischen Vorbedingungen berücksichtigt. Für die unbunten Farben (Grau-Weiß-Empfindungen) wird eine Ordnung aufgestellt, die auf Grund des Fechnerschen Gesetzes der Unterschiedsempfindlichkeit Abstufungen nach gleichmerklichen Unterschieden vornimmt. Die Stufen von tiefstem Schwarz bis zu reinstem Weiß bilden also durch die grauen Farben hindurch entsprechend dem Fechnerschen Gesetz eine geometrische Reihe. Der Weißgehalt eines gegebenen unbunten Papiers wird dabei durch das Reflexionsvermögen (Albedo) festgelegt und danach in der eben erwähnten Weise die Einordnung vollzogen.

Bei den bunten Farben bildet eine der Grundlagen für die *Ostwaldsche* Lehre die Unterscheidung zwischen unbezogenen und bezogenen Farben. Als erstere werden die Spektralfarben bezeichnet, die nicht unter Berücksichtigung der umgebenden Belichtung, wie es bei den praktisch vor allem in Betracht kommenden Körperfarben geschieht, gesehen werden. Die Körperfarben (Pigmente) sind nach *Ostwald* dadurch charakterisiert, daß sie jeweils die Hälfte des Farbtonekreises, der von den Spektralfarben gebildet wird und durch die aus Mischung der langwelligsten und kurzwelligsten Spektrallichter entstandenen Purpur-

<sup>1)</sup> Die Preise der Bücher sind ohne die Teuerungszuschläge eingesetzt.



töne zum vollen Kreise ergänzt wird, reflektieren (Lehre vom Farbenhalb).

Die Gesamtheit der bunten Farben wird in 100 oder praktisch in genügender Weise in 24 Stufen zerlegt. Den Farbton einer vorgelegten Farbe bestimmt Ostwald objektiv mit Hilfe seines Chromometers (Wollaston + Nicol'sches Prisma) unter gleichzeitiger Bestimmung des Weiß- und Schwarzgehaltes der Farbe.

Auf Grund dieser Messungen kommt Ostwald dann zu einer Normung der unbunten und bunten Farben. Die Farben ein und desselben Farbtones werden in Form eines Dreiecks angeordnet, an dessen Ecken Weiß, Schwarz und Vollfarbe sich befinden. Die Seiten des Dreiecks werden entsprechend dem Fechner'schen Gesetz durch die empfindungsmäßig gleichen Abstufungen der Farbenreihen Weiß-Schwarz, Weiß-Vollfarbe, Schwarz-Vollfarbe gebildet, während in den zu den Seiten parallelen Reihen entsprechend die Farben von verschiedenem Grade der Trübung (Hering nannte es Verhüllung) angeordnet sind. Die Gesamtheit dieser farbtongleichen Dreiecke — es sind, da Ostwald 24 Farbtöne im Farbtonekreise unterscheidet (s. o.), auch 24 — bildet den Farbkörper, der in genau festgelegten Normen die praktisch in genügend großen Abstufungen angeordneten Farben enthält. Ostwald benennt durch Buchstaben und Ziffern jeden vorkommenden Farbton seines Schemas und gewinnt damit ein auch objektiv feststellbares Maßsystem.

Man kann es verstehen, daß sich Hering, wie Ostwald bei anderer Gelegenheit erwähnt, dieser Art der Farbenmessung gegenüber reserviert verhalten hat. Trotzdem Ostwald auf den Schultern Herings steht, ist sein Standpunkt doch vorwiegend physikalisch und nicht psychophysisch. Angesichts der Tatsache, daß er ursprünglich Chemiker, also letzten Endes Physiker ist, ist das nur begreiflich, und da er, wie er selbst zugibt, nicht mehr die Möglichkeit hat, sich bei seinen hohen Jahren mit den physiologisch-psychologischen Tatsachen des Farbensinnes bis in alle Einzelheiten bekannt zu machen, hat er eben die Einflüsse, welche das Farbensehen z. B. durch die Änderungen der Stimmung des Sehorgans (Hering) erfährt, nicht in dem Maße in Rechnung gestellt, wie es wohl geschehen wäre, wenn er von der Sinnesphysiologie her an das Problem herangetreten wäre. Die Forderung, eine objektiv reproduzierbare Fixierung der Farbenqualitäten, soweit der physikalische Reiz in Betracht kommt, zu erreichen, ist aber durchaus berechtigt und auch von Ostwald sicher zu einem großen Teil in befriedigender Weise erfüllt worden. Er hat dabei sein Augenmerk, wie er betont, im Gegensatz zu den bisherigen von physiologischer Seite angestellten Untersuchungen nicht auf die homogenen (Spektral-) Farben gerichtet, sondern eine Messung und Normung der für das praktische Leben wichtigen Körper- (Ostwalds bezogene) Farben durchgeführt. Als Zeichen der Leistungsfähigkeit und der Vielseitigkeit des in hohem Alter stehenden genialen Forschers besitzen seine Untersuchungen zur Farbenlehre einen ganz besonderen Reiz.

A. Brückner, Jena.

Lazarus, Adolf, Paul Ehrlich. Meister der Heilkunde, herausgegeben von Max Neuburger. Bd. 2. Wien, Rikola-Verlag, 1922. 14 × 21 cm. 88 S. Preis geh. M. 40,—; geb. M. 60,—.

Lazarus, der Ehrlich an jenem Hauptwende- punkt des Schaffens nahetrat, als die vornehmlich durch Farbstoffchemie charakterisierte klinisch-

histologisch-chemische Zeit des jungen Ehrlich durch seine Immunitätsforschungen abgelöst wurde, und der sein Leben lang Ehrlich als treuester Freund und ärztlicher Berater verbunden blieb, hat in diesem Buch ein Bild von Ehrlichs Leben und Tun zu geben unternommen. Beengt von der Knappheit der wenigen Seiten, in deren beschränktem Maß die in Ehrlichs Hand zu Riesenwerken emporwachsen- den Probleme kaum angedeutet werden konnten, hat Lazarus den Weg gewählt, die Tatsachen für sich sprechen zu lassen. Einfach und schlicht schildert er den Werdegang dieses genialen Menschen durch Aufzählung seiner Leistungen; und es gelingt ihm durch diese Art der Darstellung, von Seite zu Seite mehr das Gefühl aufsteigen zu lassen, daß hier die Taten eines unermesslichen Geistes vorgeführt werden, trotz der Fülle des Geleisteten keine fertigen, zu Ende ausgebauten Gebilde, sondern ebensovielen Fundamente großer Forschungsgebiete und die klaren Umrisse der auf ihnen zu errichtenden Bauten. Ehrlich wird uns hier vorgeführt als der einfache und klar denkende, anspruchslose, bescheidene Mensch, als welchen er sich in seinem ganzen Leben gab, über den Dingen stehend und jedem Gepränge abhold, dem das Äußere nichts, der Inhalt alles war, schwachen Körpers, aber begabt mit einem Geiste, der mit Vollendung arbeitete, nie ermüdete, nie stillstand, fertig Scheinendes stets längst überholt hatte. Dieses Geistes Arbeit ist nicht nach Leistungen und nach Erfolg zu messen. Seine Funktion allein war bewundernswert. In der zeitlichen Begrenzung des menschlichen Lebens vermochte er nur einzelne Dinge aus der unendlichen Fülle des Möglichen herauszunehmen. Was dieser Geist aber in Angriff nahm, war von früher Jugend an stets vollendet geschaffen. Das in Ehrlichs Schriften Bekanntgegebene bildet nur einen kleinen Ausschnitt aus dem, was in Ehrlichs Geist wogte und der Ausführung harhte. Wie viel aber in diesem geringen Teil von Ehrlichs Gedankenarbeit Wichtiges, Fortschreitendes, wissenschaftlich Grundlegendes und vor allem, Ehrlichs einzigem Lebensziel, der kranken Menschheit Nützliches lag, davon gibt einen Staunen erregenden Begriff dieses Buch von Lazarus, der dies Werk schrieb „in wehmütiger Erinnerung an vergangene schöne Zeiten“. Das Buch sollte jedem strebenden, idealgesinnten Naturforscher und Arzt eine immer wieder hervorgeholte, zur Nach- eiferung anregende Lektüre bilden.

F. Pinkus, Berlin.

Meyer, Richard, Vorlesungen über die Geschichte der Chemie. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H., 1922. VIII, 467 S. 17,5 × 25,5 cm. Preis geh. M. 200,—; geb. M. 240,—.

Diese Vorlesungen, die dem Andenken Victor Meyers gewidmet sind, erheben nicht den Anspruch, neue selbständige Erkenntnisse aus der Geschichte der Chemie zu vermitteln; unter Berücksichtigung der jüngsten Forschungen bieten sie den bekannten Stoff ohne allzuvielen Einzelheiten; sie sind dazu bestimmt, „bei den jüngeren Fachgenossen . . . ein wärmeres Interesse für die Geschichte unserer Wissenschaft zu erwecken.“

Die ältere Geschichte der Chemie wird in der üblichen Einteilung (Vorgeschichte, Alchemie, Iatrochemie, Phlogistontheorie) dargestellt; die weiteren Vorlesungen tragen die Überschriften: Zeitalter Lavoisiers — Dalton und die Atomtheorie — Entwicklung der organischen Chemie im ersten Drittel des 19. Jahr-

hundreds. — Ausbildung des Valenzbegriffes. — Die Viegwertigkeit des Kohlenstoffes, Atomverkettung, Strukturlehre. — Benzoltheorie. — Periodisches System. — Neuere Entwicklung der Verwandtschaftslehre. — Stereochemie. — Tautomerie. — Theorie der Lösungen. — Wichtige Entdeckungen aus der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. — Fortentwicklung der Stereochemie. — Edelgase. — Radioaktivität. — Neuere Valenzlehre. — Benzolproblem in der Gegenwart. — Beziehungen zwischen der Zusammensetzung der organischen Verbindungen und ihren physikalischen Eigenschaften. — Organisch-chemische Arbeiten im 20. Jahrhundert. — Die chemische Industrie im 19. und 20. Jahrhundert. — Literarische Hilfsmittel. — Forschungsinstitute.

Dem Buch ist ein Wort *Emil Fischers* vorangestellt: „Die Wissenschaft ist nichts Abstraktes, sondern als Produkt menschlicher Arbeit auch in ihrem Werdegang eng verknüpft mit der Eigenart und dem Schicksal der Personen, die sich ihr widmen.“ In Anlehnung an diesen Gedanken hat der Verfasser die Persönlichkeiten stärker hervorgehoben als sonst üblich, und darin liegt die Besonderheit dieser Vorlesungen.

*R. Meyer* beschränkt sich nicht auf die Schilderung der — meist höchst einfachen — Lebensverhältnisse der hervorragenden Chemiker, ihrer gesamten Forschungen, der Unterrichtserfolge und der literarischen Arbeiten, sondern er versucht auch mit ganz kurzen Worten oder durch eine Anekdote ihren menschlichen und wissenschaftlichen Charakter festzustellen. Da die biographischen Teile den sachlichen Erörterungen unmittelbar folgen, so wird häufig die Einheit des Gedankenganges in den einzelnen Vorlesungen gestört; das scheint aber kaum vermeidbar, wenn man nicht die Geschichte der Chemie von der Geschichte der Chemiker vollständig trennen will, was auch wiederum bedenklich wäre. Die organische Chemie — das engere Arbeitsgebiet des Verfassers — erscheint gegenüber der anorganischen und physikalischen Chemie etwas bevorzugt, so daß einzelne Teile der beiden letzten, z. B. die Entdeckungsgeschichte der Elemente oder die Gleichgewichtslehre etwas schlecht wegkommen. Aufgefallen ist mir, daß weder das *Meyer-Jacobsonsche* Lehrbuch der organischen Chemie noch *Nernsts* „Theoretische Chemie“ erwähnt sind; überhaupt dürfte in einer späteren Auflage die Literatur vollständiger berücksichtigt werden; ferner fehlen bei der Röntgenspektroskopie die Namen *W. H.* und *W. L. Bragg*; daß in dem sonst vortrefflichen Register aber *Johannes Brahm*, *Joseph Joachim* und *Clara Schumann* — Freunde der Familie *Ladenburg* — auftreten, erscheint mir als eine etwas zu weitgehende Gewissenhaftigkeit. Bei der Verwendung der Edelgase wird irrtümlich angegeben, daß Neon zur Füllung von Glühlampen diene; es ist das Argon, das für diesen Zweck verwendet wird, während man Neon für Glimmlampen und bestimmte Arten von Metallbogenlampen benutzt.

Die Darstellung ist überall klar und gut verständlich, so daß man sich mit Vergnügen in die glanzvolle Entwicklung der wissenschaftlichen und technischen Chemie vertieft. Es wäre zu wünschen, daß diese Vorlesungen weite Verbreitung fänden und daß die Jugend aus der Schilderung einer großen Vergangenheit Mut und Ausdauer gewänne zur Überwindung der jetzt unserer Wissenschaft von allen Seiten drohenden Gefahren.

*I. Koppel, Berlin-Pankow.*

**Pfeiffer, Paul, Organische Molekülverbindungen.** Chemie in Einzeldarstellungen. Herausgegeben von *Julius Schmidt*. XI. Band. Stuttgart, Ferdinand Enke, 1922. XIV, 328 S. Preis geh. M. 135,—; geb. M. 148,—.

Zusammen mit *R. Weinlands* „Einführung in die Chemie der Komplexverbindungen“ (vgl. Naturwissenschaften 8 [1920], 233) gibt dieses Werk einen vollständigen Überblick über die Erfolge, die unter dem Einflusse der Wernerschen Koordinationslehre in der Experimentalchemie erzielt sind.

Während in *Weinlands* Werk in erster Linie gezeigt wird, welchen Fortschritt die Wernersche Theorie für die Strukturlehre der Verbindungen höherer Ordnung bedeutet, ein Fortschritt, der besonders in der anorganischen Chemie zutage trat, lehrt *Pfeiffer* die Bedeutung der Molekülverbindung für das Verständnis der Reaktionen organischer Stoffe. Die fast lückenlose Zusammenstellung der bisher schon dargestellten organischen Molekülverbindungen fördert ein überraschend umfangreiches Material zutage, das früher lange Zeit als nebensächlich wenig beachtet war. Die Erkenntnis von der Wichtigkeit dieser Verbindungen für die organische Synthese ist nicht zum geringsten Teil durch die Arbeiten des Verfassers selbst gewonnen worden, der als einer der ältesten langjährigen Mitarbeiter von *Werner* gerade auf dem Gebiete der organischen Molekülverbindungen Grundlegendes geleistet hat.

Die verschiedensten Gebiete organischer Forschung sind bereits durch diese Erkenntnis befruchtet: die „inneren Metallkomplexsalze“, zu denen das Chlorophyll nach *Willstätters* glänzenden Untersuchungen, sowie der Blutfarbstoff gehört, die Färbung der Beizenfarben, die katalytischen Vorgänge bei der Halogenisierung organischer Stoffe und bei zahlreichen anderen Reaktionen, ja sogar auch bei der Hydrolyse von Polysacchariden durch Enzyme, die „Halochromieerscheinungen“, die „Waldensche Umkehrung“ — dies alles, um nur einige Tatsachen anzuführen, ist durch die Forschungen über organische Molekülverbindungen in ein neues Licht gerückt. Man kehrt hiermit zurück zu Ansichten über den Mechanismus chemischer Reaktionen, wie sie schon im Jahre 1858 *Kekulé* geäußert hatte, der annahm, daß jeder chemischen Umsetzung zwischen zwei Molekülen die Entstehung einer Molekularverbindung vorangehen müsse. Der Nachweis der Existenz dieser Verbindungen ist naturgemäß von größter Bedeutung für die Dynamik organischer Reaktionen.

Das Buch bringt in zwei Hauptabschnitten in übersichtlicher Anordnung zuerst die „anorganisch-organischen Molekülverbindungen“ und dann die „rein organischen Molekülverbindungen“. Der Verfasser verzichtet nicht darauf, bei jedem Abschnitte auf die wichtigen theoretischen Schlußfolgerungen hinzuweisen, die sich aus den Eigenschaften der behandelten Verbindungsreihen ergeben. Ein Abschnitt über die „allgemeine Theorie der Molekülverbindungen“ leitet das Werk ein, ein anderer „Über den Mechanismus chemischer Reaktionen“ schließt es.

Die Vollständigkeit der Materialsammlung, die Klarheit der theoretischen Schlußfolgerungen und die anregenden Ausblicke für weitere Untersuchungen machen das Buch zu einem wichtigen Werkzeug in der Hand des Forschers.

*A. Rosenheim, Berlin.*



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 42. (Seite 911—926.)

20. Oktober 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Atomgewichtsfragen. Von *R. J. Meyer, Berlin*. S. 911.

Über die Massenverteilung im Erdinnern, verglichen mit der Struktur gewisser Meteoriten. Von *V. M. Goldschmidt, Kristiania*. (Mit 1 Abbildung.) S. 918.

Neue physiologische Untersuchungen über das Leben in den Anden. Von *A. Loewy, Berlin*. S. 920.

### Besprechungen:

Titschack, E., Beiträge zu einer Monographie der Kleidermotte, *Tineola biselliella*. Von *Albrecht Hase, Berlin-Dahlem*. S. 923.

Nüsslin, Otto, Forstinsektenkunde. 3. Auflage. Von *Max Dingler, München*. S. 924.

Oltmanns, Friedr., Morphologie und Biologie der Algen. Von *E. G. Pringsheim, Prag*. S. 924.

### Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Sonderbare Wirkungen des Mödlinger Trinkwassers auf Salamanderlarven. Von *K. Hofmann, Wien*. S. 925.

Stazione idrobiologica del Trasimeno. Von *Oswald Polimanti, Monte del Lago*. S. 925.

Die Tagung der paläontologischen Gesellschaft in Tübingen vom 9.—13. August 1922. Von *K. Ehrenberg, Wien*. S. 925.



**GOERZ**  
**TENAX-FILM**  
ROLLFILM / FILMPACK

Hochempfindlich, besonders für Moment-Aufnahmen  
geeignet Gleichmässiges feines Korn. Lichthoffrei,  
orthochromatisch. Planliegen in den Bädern und  
nach dem Trocknen. Widerstandsfähige Schicht.

Lieferbar in allen gangbaren Grossen. Preisliste gratis

Fabrikanten  
**Goerz Photochemische Werke G.M.B.H.**  
Berlin-Zehlendorf Ws.  
Generalvertrieb  
**Opt. Anst. C.P. Goerz A.G. Berlin-Friedenau 45**

Die eingesetzten Grundzahlen (G.Z.) entsprechen dem ungefähren Goldmarkwert und ergeben mit dem Umrechnungsschlüssel (Entwertungsfaktor) zur Zeit: 80, vervielfacht den Verkaufspreis.



## Atomgewichtsfragen.

Von R. J. Meyer, Berlin.

Inhalt: Geschichtliche Entwicklung. Das Bezugselement. Die internationale Atomgewichtskommission. Gegenwärtiger Stand der Atomgewichtsforschung. Die deutsche Atomgewichtskommission. Wert genauester Atomgewichtsbestimmungen.

## 1. Geschichtliche Entwicklung.

Seitdem die Erkenntnis, daß die Elemente sich nach konstanten und multiplen Proportionen verbinden, die Grundtatsache der Chemie geworden ist, das heißt seit der wissenschaftlichen Begründung der Atomistik durch *John Dalton* im Anfange des vorigen Jahrhunderts, ist eine möglichst genaue Ermittlung der relativen Massen der Elementaratome eine der Hauptaufgaben der messenden und wägenden Experimentalchemie gewesen.

Die klassische Methode, nach der man Atomgewichte bestimmt, ist die der quantitativen chemischen Analyse oder Synthese ihrer Verbindungen. Es leuchtet ohne weiteres ein, daß man aus einer Verbindung  $AX$ , in der das Atomgewicht des Elementes  $A$ , bezogen auf eine willkürliche Einheit ( $H=1$  oder  $O=16$ ) bekannt ist, durch genaue Feststellung ihrer prozentischen Zusammensetzung das unbekannte Atomgewicht des Elementes  $X$  ermitteln kann. Wir finden z. B. auf diese Weise, daß im Natriumchlorid  $NaCl$  mit 35,457 Gewichtsteilen Chlor, der relativen Masse eines Atoms Chlor, bezogen auf Sauerstoff = 16,000, 23,00 Gewichtsteile Natrium verbunden sind. Es ist aber klar, daß der Genauigkeitsgrad von etwa einigen Zehntausendsteln des Wertes, mit dem das Atomgewicht des Natriums heute bestimmt ist, nur durch äußerste Verfeinerung der analytischen Methoden hat erreicht werden können. Der Ausbildung solcher Verfahren zur Atomgewichtsbestimmung ist die analytische Arbeit eines Jahrhunderts gewidmet gewesen.

In der Abhandlung, in der *John Dalton* im Jahre 1805 der Öffentlichkeit eine Darstellung der ersten Grundlagen seiner Atomtheorie vorlegte<sup>1)</sup>, findet man am Schlusse die erste Atomgewichtstabelle, die in den Annalen unserer Wissenschaft verzeichnet ist. „An enquiry into the relative weights of the ultimate particles of bodies is a subject intirely new“, schreibt *Dalton*, „I have lately been prosecuting this enquiry with remarkable success“. Und nun folgen die relativen Gewichte von 21 Stoffen teils elementarer, teils

zusammengesetzter Natur<sup>2)</sup> (Atom- und Molekulargewichte), die freilich, wenn wir sie von der Höhe unserer heutigen Kenntnisse betrachten, ein beredtes Zeugnis für die Unvollkommenheit der Methoden jener Zeit ablegen. Der weithin wirkende Erfolg und Einfluß dieser durch Geist und Kühnheit ausgezeichneten ersten Bemühungen besteht also nicht sowohl in der Ausführung genauer Atomgewichtsbestimmungen, die nach dem niedrigen Stande der analytischen Kenntnisse jener Zeit und ihrer unvollkommenen Technik notwendigerweise ein dürftiges Ergebnis liefern mußten, als vielmehr in der Aufstellung der stöchiometrischen Gesetze, für deren Beurteilung diese Bestimmungen ein wertvolles Material lieferten<sup>3)</sup>.

Das quantitative Bedürfnis nach Präzision wurde dagegen erst durch den berühmten Schweden *Berzelius* befriedigt, dessen umfassende Arbeiten sowohl das Gesetz der konstanten und multiplen Proportionen sicherstellten, als auch gleichzeitig die Methoden der Analyse bis zu einem so hohen Grade verbesserten, daß seine Atomgewichtsbestimmungen die Grundlage für alle späteren Fortschritte auf diesem Gebiete bilden<sup>4)</sup>. In dem Maße aber, als die Genauigkeit dieser Bestimmungen zunahm, schien die sehr verlockende Hypothese von *W. Prout*, nach der die Atomgewichte der Elemente Multipla von dem des Wasserstoffs, also ganzzahlig sein müßten, wenn man  $H=1$  setzt, in den Hintergrund gedrängt zu werden. Tatsächlich war der Glaube an die Gültigkeit dieser Hypothese schon weitgehend erschüttert, als *Jean Servais-Stas*, zuerst mit *Dumas* zusammen (1841), später allein, in seinen „Nouvelles Recherches sur les lois des proportions chimiques“<sup>5)</sup> die Frage endgültig zu Ungunsten von *Prout* entschieden zu haben meinte. Das außerordentliche und kaum zu überschätzende Verdienst von *Stas* liegt zunächst in dem abschließend erbrachten Beweise, daß das Gesetz der

<sup>2)</sup> Der Unterschied zwischen Atom und Molekel wurde erst durch *Gay-Lussac* 1809 und *Avogadro* 1811 begründet.

<sup>3)</sup> *Dalton* gebührt eigentlich nur die Ehre der Entdeckung der multiplen Proportionen; das Gesetz von den konstanten Proportionen ist, wenn auch nicht mit bewußter Klarheit, schon in den Arbeiten des Deutschen *J. B. Richter* (1796—1798) ausgesprochen; auch *Berthollet* in seinem berühmten Werke „Essai de statique chimique“ (1803) und *J. L. Proust* (1799) haben die Idee dieser Lehre auf das wirksamste vorbereitet.

<sup>4)</sup> „Versuche, die bestimmten und einfachen Verhältnisse aufzufinden, nach welchen die Bestandteile der unorganischen Natur miteinander verbunden sind“ (1810). *Gilberts Ann. d. Phys.* 1811 ff. — *Ostwalds Klassiker* Nr. 35.

<sup>5)</sup> *Mém. de l'Acad. de Belgique* 35 (1865).

<sup>1)</sup> *Memoirs of the Literary and Philosoph. Soc. of Manchester*, Second. Ser. Vol. I, Manchester 1805, *Ostwalds Klassiker* Nr. 3.

konstanten und multiplen Proportionen streng gilt. Zu einem so eindeutigen Ergebnis konnte er aber nur gelangen durch ein streng logisches System und eine strenge kritische Prüfung der Reinheit der angewandten Stoffe und der analytischen Methoden, die durch ihn zu einem Grade von Vollkommenheit gebracht wurden, die noch heute unsere höchste Bewunderung erweckt. Wenn die neueste Entwicklung auf diesem Gebiete, die an den Namen von *Th. W. Richards* anknüpft, noch einen Schritt weitergehen konnte, indem sie feinere Fehlerquellen aufdeckte, die *Stas* entgangen sind, und indem sie die Technik der Methoden noch mehr vervollkommnete, so leidet dadurch das Lebenswerk von *Stas* keine Beeinträchtigung<sup>6)</sup>.

Bis zum Abschlusse dieses Werkes, das im Jahre 1865 im wesentlichen vollendet war, sind es also vornehmlich zwei mächtige Impulse, die die Atomgewichtsforschung beeinflussten und vorwärtsdrängten, nämlich einerseits die Frage nach der strengen Gültigkeit der stöchiometrischen Grundgesetze und andererseits die Prüfung von *Prouts* Hypothese, die den verführerischen Ausblick auf die Erkenntnis des einheitlichen Aufbaus der Materie aus Wasserstoffatomen eröffnete. Nachdem beide Probleme, das eine im positiven, das andere im negativen Sinne erledigt schienen, mußte naturgemäß das theoretische Interesse an der Atomgewichtsforschung ein wenig nachlassen, wenn auch die Aufstellung des periodischen Systems um das Jahr 1870 die nie schlummernde Grund- und Lebensfrage nach der genetischen Beziehung der Elemente von neuem belebte.

## 2. Das Bezugselement. Die internationale Atomgewichtskommission.

Die praktische Bedeutung genauer Atomgewichtszahlen liegt natürlich in der Tatsache, daß sie bei der Ermittlung der Zusammensetzung chemischer Verbindungen und überhaupt bei der quantitativen Verfolgung aller chemischen Vorgänge in Wissenschaft und Praxis gebraucht werden. Gerade die umfassende Wichtigkeit, die diesen Konstanten im täglichen Leben des analysierenden Chemikers zukommt, machte es im Laufe der Zeiten notwendig, der Verwirrung Einhalt zu tun, die von der Anwendung verschiedener Werte und besonders verschiedener Einheiten herrührte. Um zunächst die Frage nach dem *Bezugselement* zu berühren, so hat *Dalton* seine Atomgewichte auf den *Wasserstoff* als Einheit bezogen. Die Wahl des leichtesten Elementes bot sich als die

natürlichste dar und außerdem schien sie so lange auch einer gewissen theoretischen Begründung nicht zu entbehren, als die Hypothese von *Prout* noch Vertrauen genoß. Aber bereits *Berzelius* ging von der Wasserstoffeinheit ab und wendete sich dem Sauerstoff als Bezugselement zu, weil, wie es in der ersten Auflage seines Lehrbuches heißt, „der Wasserstoff sehr leicht ist und selten in chemische Verbindungen eingeht.“ Dagegen vereinigt der Sauerstoff alle Vorteile. Er ist sozusagen der Mittelpunkt, um den sich die ganze Chemie dreht.“ Wenn auch diese Auffassung heute nicht mehr in ihrem vollen Umfange berechtigt erscheint, so stehen tatsächlich die Atomgewichte der Mehrzahl der Elemente in direkterer Beziehung zu dem Atomgewicht des Sauerstoffs, als zu dem des Wasserstoffs, weil sie meist aus der Analyse oder Synthese sauerstoffhaltiger Verbindungen berechnet wurden. Dieser Einwand gegen die Wasserstoffbasis verlor allerdings wesentlich an Gewicht, als es gelang, das Massenverhältnis Wasserstoff : Sauerstoff mit aller wünschenswerten Schärfe zu ermitteln. Man darf sagen, daß dieses Problem heute gelöst ist. Durch die bewunderungswürdigen Untersuchungen von *Morley* (1895), *Kaiser* (1898), *W. A. Noyes* (1907), *Burt* und *Edgar* (1916), *Guye* u. a., die die so überaus schwierige Aufgabe der Bestimmung des Verhältnisses  $H : O$  teils durch Analyse und Synthese des Wassers, teils durch genaueste Ermittlung des Verhältnisses der Dichten beider Gase ausführten, wissen wir, daß, wenn wir  $O = 16$  setzen, das Atomgewicht des Wasserstoffs 1,0077 wird mit einer Unsicherheit von einer Einheit der letzten Stelle, einer Genauigkeit, die den schärfsten Atomgewichtsbestimmungen an anderen Elementen ( $Cl, Br, J, N, C, Ag$ ) an die Seite zu stellen ist.

Als im Jahre 1897 die Deutsche Chemische Gesellschaft eine Kommission zur Feststellung der Atomgewichte für den allgemeinen Gebrauch einsetzte (*Ostwald, Landolt, Seubert*), geschah dies auf die Anfrage der vom Reichsgesundheitsamt berufenen Kommission analytischer Chemiker: welche Atomgewichte den praktisch-analytischen Rechnungen zugrunde zu legen seien, ein Beweis für die unleidliche Verwirrung, die damals in dieser Beziehung herrschte. Dies führte 1898 zur Bildung einer großen internationalen, aus 57 namhaften Vertretern von 11 Nationen bestehenden Kommission, die sich an erster Stelle mit der Frage der Einheit — Wasserstoff = 1 oder Sauerstoff = 16 — zu beschäftigen hatte. Auf Grund eines Mehrheitsbeschlusses entschied man sich 1901 für  $O = 16$ , wofür in erster Linie der bereits oben angeführte Gesichtspunkt der größeren Verbindungsfähigkeit des Sauerstoffs maßgebend war. Trotzdem hielt es die inzwischen gewählte engere Kommission [*Clarke* (Amerika), *Thorpe* (England), *Seubert* (Deutschland), später *Moissan* (Frankreich)] für richtig, die erste internationale Atomgewichtstabelle im Jahre 1905

<sup>6)</sup> *J. W. Mallet*, „Jean Servais-Stas and the measurement of the relative masses of the atoms of the chemical elements“, *Journ. of the Chem.-Soc.* 63 (1893) 1. Einen ausgezeichneten Überblick über das Lebenswerk von *Stas* gibt neuerdings auch *A. Scott* in „The atomic theory with especial reference to the work of Stas and Prouts hypothesis“, *Journ. of the Chem. Soc.* 111 (1917), 288.



zweifach, bezogen auf die Sauerstoff- und die Wasserstoffeinheit erscheinen zu lassen, um der starken Minderheit gerecht zu werden, die am Wasserstoff als Bezugselement festhalten wollte. Der Hauptgrund für diese Stellungnahme war didaktischer Natur. Man müsse im chemischen Unterricht von der Wasserstoffeinheit ausgehen, hieß es, wenn man den Aufbau des Volumengesetzes und der Wertigkeitslehre, wie er sich aus den Beziehungen zwischen den Volum-, Atom- und Molekulargewichten gasförmiger Stoffe ableiten läßt, dem Anfänger klar verständlich erläutern wolle. Trotz solchen Widerstandes, der heute längst verstummt ist, siegte endgültig die Sauerstoffpartei, und seit dem Jahre 1905 werden die Atomgewichte in der ganzen chemischen Welt nur noch auf  $O = 16$  bezogen. Wollte man jetzt hierin eine Änderung zugunsten des Wasserstoffs eintreten lassen, so würde  $O = 15,88$  werden, und es müßten nicht nur sämtliche anderen Atomgewichte entsprechend umgerechnet werden, sondern es würde auch der Wert grundlegender physikalischer Konstanten, z. B. der der Gaskonstante, in Mitleidenschaft gezogen werden. Abgesehen hiervon aber entspricht es der modernen Theorie, dem Sauerstoff als „Reinelement“ ein ganzzahliges Atomgewicht zuzuerteilen, weil dann auch bei den anderen isotonenfreien Elementen ganze Zahlen zu erwarten sind.

### 3. Gegenwärtiger Stand der Atomgewichts- forschung.

Es erscheint nun zunächst notwendig, den gegenwärtigen Stand der Atomgewichtsforschung kurz zu kennzeichnen.

Das auf diesem Gebiete Erreichte wird am klarsten erkennbar durch Beantwortung der Frage: Mit welcher Annäherung ist es gelungen, die Atomgewichte der Elemente auf die Basis  $O = 16,000$  zu beziehen? Es leuchtet ein, daß man die unmittelbarsten und theoretisch fehlerfreisten Bestimmungen durch die Analyse oder Synthese der binären Sauerstoffverbindungen der Elemente, also der Oxyde, gewinnen würde. Handelt es sich z. B. um die Ermittlung des Atomgewichts des Silbers, so böte sich die Analyse oder Synthese des Silberoxyds als der aussichtsreichste Weg hierfür dar. Leider hat sich aber gezeigt, daß die Oxyde häufig nicht leicht in einem Zustande einheitlicher Zusammensetzung darstellbar sind — Silberoxyd enthält z. B. leicht Silberperoxyd — und daß sie außerdem wegen ihrer vielfach pulverförmigen Beschaffenheit, die zur Occlusion von Gasen führt, als Ausgangsverbindungen für Atomgewichtsbestimmungen sich selten eignen; denn die erste Forderung, die an alle im Gange einer solchen Bestimmung zur Wägung gelangenden Stoffe zu stellen ist, bezieht sich auf ihre definierte und unabänderlich konstante Zusammensetzung. So ist man auf einen weniger direkten Weg angewiesen, der bereits von *Berzelius* beschritten und von *Stas* und *Richards*

systematisch ausgebaut wurde. Die Methode sei hier an einem klassischen Beispiele kurz angedeutet. Geht man vom Kaliumchlorat  $KClO_3$  aus und führt dieses durch Erhitzen in  $KCl$  über, so gewinnt man hierdurch den Wert des Verhältnisses  $KCl : O_3$  oder, was dasselbe bedeutet, das Molekulargewicht des Chlorkaliums. Durch Fällung des Chlorkaliums mit Silber ergibt sich dann das Molekulargewicht des Chlorsilbers und durch die Synthese dieses Salzes aus Silber und Chlor erhält man schließlich die Atomgewichte von Chlor, Silber und Kalium. Durch derartige Verfahren, die nach den verschiedensten Richtungen variiert und erweitert werden können und die sich in ihren Ergebnissen gegenseitig kontrollieren, erhält man schließlich die Atomgewichte aller Elemente als eine Kette voneinander abhängiger Größen, die mehr oder weniger unmittelbar an die Sauerstoffeinheit angeschlossen sind und dementsprechend auch ein verschiedenes Maß von Vertrauen verdienen. Abgesehen hiervon kommt für die Bewertung der Genauigkeit die Zuverlässigkeit der benutzten Verfahren, die Anzahl der Bestimmungen nach möglichst voneinander unabhängigen verschiedenen Methoden und der Grad der Übereinstimmung der Einzelresultate in Betracht. Die sogenannten fundamentalen Atomgewichte von Silber, Chlor, Brom, Jod, Stickstoff, Kohlenstoff, Kalium und Natrium können heute mit einer Genauigkeit von annähernd  $\frac{1}{10000}$  ihres Wertes angegeben werden. Dies gilt auch für eine Reihe moderner Bestimmungen an anderen Elementen wie Thorium, Uran, Wismut. Wenn sich also das Atomgewicht des Silbers zu 107,88 ergibt, so beträgt die Unsicherheit eine Einheit der letzten Stelle. Mit diesem Wert für Silber stehen die modernsten und zuverlässigsten Atomgewichtsbestimmungen einer großen Reihe von Elementen in engster Beziehung, weil die Methode, die heute durch Sicherheit und Vollendung ihrer Ausbildung die herrschende ist, auf der Analyse der wasserfreien Chloride oder Bromide, also auf der Ermittlung der Verhältnisse  $RCl : Ag : AgCl$  oder  $RBr : Ag : AgBr$  beruht. Dieses Verfahren, das sich auf die jahrzehntelang fortgesetzten eingehenden Studien von *Th. W. Richards* und seiner Schüler an der Harvarduniversität, Cambridge (Mass.), gründet und das in Deutschland besonders durch *O. Hönigschmid* fruchtbarste Fortbildung und Anwendung gefunden hat, ergibt in der Hand berufener Experimentatoren, die durch lange Erfahrung Übung und geschärften Blick gewonnen haben, Ergebnisse von ganz außerordentlicher Gleichmäßigkeit und Zuverlässigkeit. Die Möglichkeit hierzu ist dadurch gegeben, daß man auf Grund der intimen Kenntnis aller bei der Ausübung der Methode in Frage kommenden Operationen in der Lage ist, „konstante“ Fehler mit einem hohen Grade von Wahrscheinlichkeit vollständig zu vermeiden. Insbesondere ist heute die Herstellung von absolut

reinem gasfreiem Silber als Standardsubstanz ein gelöstes Problem. Es muß demnach zweifelhaft erscheinen, ob man mit der Harvardmethode noch zu einem höheren Grade von Genauigkeit wird gelangen können als bisher. Da bei ihrer Anwendung das Silber als „sekundäre Basis“ dient und dessen Atomgewicht immerhin mit einer Unsicherheit von  $\frac{1}{10000}$  behaftet ist, so geht diese Unsicherheit auch in die Atomgewichte aller Elemente ein, die auf diese Basis bezogen sind. Man dürfte deshalb auf diesem Wege erst dann zu einem noch höheren Grade von Exaktheit kommen, wenn es gelingen sollte, das Verhältnis des Silbers zum Sauerstoff noch genauer zu bestimmen, als es bisher möglich war.

In neuerer Zeit ist nun den eben gekennzeichneten Methoden, die auf analytischer oder synthetisch-chemischer Grundlage beruhen, eine bemerkenswerte Konkurrenz in den physiko-chemischen Verfahren erwachsen. Diese außerordentlich wertvollen, weil von den chemischen völlig unabhängigen und deshalb zu ihrer Kontrolle in hohem Maße geeigneten Verfahren sind zuerst von *Daniel Berthelot* eingeführt und dann von *Philippe A. Guye* in Genf und seiner Schule zu einer Feinheit und Sicherheit entwickelt worden, die heute in erfolgreichen Wettstreit mit der durch die chemischen Methoden erreichbaren Genauigkeit treten kann. Ihre Grundlage ist die Ermittlung des Molekulargewichts von Gasen durch Bestimmung der Gasdichte, also ein Verfahren, das seit der Aufnahme des Avogadro'schen Satzes in den fundamentalen Bestand der Wissenschaft zur Ableitung der Molekulargewichte und Atomgewichte benutzt worden ist. Die Tätigkeit der neuen Schule besteht nur darin, dieser Bestimmungsart einen unübertrefflichen Grad von Präzision zu verleihen. Die hierbei zu lösende Aufgabe ist im wesentlichen dreierlei Art:

1. müssen die zur Messung oder Wägung kommenden Gase in höchster Reinheit hergestellt werden, was eine kritische Prüfung der Darstellungsmethoden erfordert.

2. müssen bei der Ermittlung der Dichte — ausgedrückt durch das Litergewicht bei  $0^\circ$  und 760 mm Druck — alle Korrekturen berücksichtigt werden, die dem heutigen Stande der Technik bei Gasmessungen und -wägungen entsprechen.

3. muß die „Kompressibilität“ des Gases, d. h. die Abweichung vom idealen Verhalten, wie es die Gasgleichung  $p v = R T$  darstellt, mit aller erreichbaren Schärfe bestimmt werden. Hierfür ist der Gang von  $p v$  für das Druckgebiet von 0—760 mm zu ermitteln.

Die dritte Aufgabe ist die schwierigste. Sie kann rein rechnerisch unter Zugrundelegung der kritischen Daten in verschiedener Weise gelöst werden oder experimentell, indem man die Gasdichte bei verschiedenen Drucken bestimmt und dann auf den Druck 0 extrapoliert. Über die verschiedenen Methoden zur Ableitung des Korrekturfaktors für die Kompressibilität existiert

eine reiche Literatur, die im wesentlichen von *Guye* und seinen Schülern stammt. Sie erweckt den Eindruck, daß dieser Punkt vielfach noch nicht mit aller wünschenswerten Sicherheit erledigt ist; das geht auch aus den neuesten Untersuchungen des spanischen Physiko-Chemikers *E. Moles*, eines der erfolgreichsten Forscher aus der Genfer Schule, hervor.

Bei allen diesen physiko-chemischen Bestimmungen der Normal-Litergewichte von Elementargasen (H, N, Cl, F, Edelgase) oder gasförmigen Verbindungen (NO, NH<sub>3</sub>, HCl, HBr, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>F) dient als Bezugseinheit das Normal-Litergewicht des Sauerstoffs, das nach den Messungen von *Morley* 1,42900, nach denen von *Germain* 1,42905 und nach der neuesten Revision von *Moles*<sup>7)</sup> 1,42892 beträgt. Es besteht also hier die Schwierigkeit, daß der Wert für das Bezugselement noch nicht mit aller wünschenswerten Schärfe bekannt zu sein scheint, wenn auch die Unsicherheit, die hierdurch in alle auf physiko-chemischem Wege ermittelten Atomgewichte hineingetragen wird, nur eine sehr geringe ist.

Als praktisches Ergebnis ist festzustellen, daß die auf physikalischer Grundlage von berufenen Forschern mit allen experimentellen und kritischen Feinheiten ausgeführten Atomgewichtsbestimmungen die auf chemischem Wege gewonnenen Zahlen in der Mehrzahl der Fälle weitgehend stützen und bestätigen. Da aber ihr Anwendungsgebiet auf die gasförmigen Stoffe beschränkt ist, so können sie die chemische Methode nur ergänzen, nicht aber sie verdrängen.

Zum Vergleich seien die Resultate einiger neuerer, nach beiden Methoden ausgeführter Bestimmungen, die auf Grund ihrer vollendeten Ausführung besonderes Vertrauen verdienen, tabellarisch mitgeteilt.

Faßt man das Gesagte zusammen, so zeigt sich, daß die uns zur Verfügung stehenden Methoden es gestatten, die relativen Massen der Elementaratome mit einem hohen Grade von Genauigkeit zu bestimmen. Andererseits darf man kaum erwarten, daß eine wesentliche Steigerung der Präzision über die erreichte Grenze von etwa  $\frac{1}{10000}$  hinaus mit den gegenwärtig zur Verfügung stehenden Mitteln zu erzielen sein wird. Der Fortschritt dürfte bei den chemischen Methoden in Zukunft in einer noch genaueren Ermittlung des Verhältnisses des Silbers zum Sauerstoff zu suchen sein, vorausgesetzt, daß nicht eine neue Methode einen direkteren Weg für den Anschluß der Elemente an die Sauerstoffbasis eröffnet. Die physiko-chemischen Methoden dagegen verlangen zunächst eine mit höchster Schärfe und Kritik ausgeführte Bestimmung des Normallitergewichts des Sauerstoffs und in manchen Fällen eine noch schärfere Erfassung der Abweichungen vom Avogadro'schen Gesetz.

<sup>7)</sup> *Moles*, Journ. de Chim. physique 19 (1921), 100; *Moles* und *Gonzalez*, ebenda 19, 310.



## Vergleich chemischer und physikalischer Atomgewichtsbestimmungen.

| Autoren                  | Chemische Methode  | Physikalische Methode                    | Atomgewicht<br>Mittelwert | Angenommener<br>Wert |
|--------------------------|--|--|---------------------------|----------------------|
| 1. Wasserstoff.          |  |  |                           |                      |
| Morley 1895 .....        | Synthese von H <sub>2</sub> O                                    | —  | 1,00762                   | 1,0077 <sup>8)</sup> |
| W. H. Noyes 1907 .....   | Synthese von H <sub>2</sub> O                                    | —  | 1,00775                   |                      |
| Morley 1895 .....        | —  | Dichte H : O                             | 1,00763                   |                      |
| Burt u. Edgar 1916 ..... | —  | Volumina H : O im H <sub>2</sub> O       | 1,00772                   |                      |
| 2. Kohlenstoff.          |  |  |                           |                      |
| Richards u. Hoover 1918  | Analyse von Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                      | —  | 12,001                    | 12,00                |
| Batuecas 1918 .....      | —  | Dichte von C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | 12,000                    |                      |
| 3. Fluor.                |  |  |                           |                      |
| Smith u. van Haagen 1915 | Verhältnis Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> : 2 NaF | —  | 19,005                    | 19,00                |
| Moles u. Batuecas 1920 . | —  | Dichte von CH <sub>3</sub> F             | 19,002                    |                      |
| 4. Brom.                 |  |  |                           |                      |
| Baxter 1906 .....        | Verhältnis Ag : AgBr   | —  | 79,916                    | 79,92                |
| " 1906 .....             | AgBr : AgCl  | —  | 79,916                    |                      |
| Moles 1916 .....         | —  | Dichte von HBr                           | 79,926                    |                      |
| Reimann 1917 .....       | —  | Dichte von HBr                           | 79,924                    |                      |

Diese noch zu erwartenden Vervollkommnungen beziehen sich auf das Ideal erreichbarer Präzision; aber gerade einige Neubestimmungen auf chemischem Wege haben gezeigt, wie weit wir in manchen Fällen noch von diesem Ideal entfernt sind, daß es also auf diesem Gebiet für den Chemiker noch viel zu tun gibt, ehe er die Hände in den Schoß legen darf. Drei Beispiele erweisen dies mit besonderer Eindringlichkeit. Das Atomgewicht des *Scandiums* mußte auf Grund einer Neubestimmung von O. Hönigschmid von 44,1 auf 45,1, das des *Wismuts* von 208,0 auf 209,0, also ebenfalls um eine ganze Einheit erhöht werden, und schließlich ist auch der Wert für das *Antimon*, der bisher mit 120,2 angenommen wurde, von Willard und Mc. Alpine als irrtümlich erkannt und auf 121,7 (!) erhöht worden. Wenn es sich noch heute um die Ausgleichung derartig hoher Differenzen bei leicht zugänglichen Elementen handelt, so ist vorauszusehen, daß sich die Tätigkeit auf diesem Gebiete noch lange nicht ihrem Abschlusse nähert.

## 4. Die Deutsche Atomgewichtskommission.

Die internationale Atomgewichtskommission hat bis zum Jahre 1916 das verantwortungsvolle Amt geübt, die Atomgewichte nach dem jeweiligen Stande der Wissenschaft zu revidieren und in jedem Jahre das Ergebnis ihrer kritischen Prüfung in Form einer Atomgewichtstabelle zu veröffentlichen, deren Zahlen für die gesamte naturwissenschaftliche Welt bindend waren. Der außerordentliche Vorteil einer solchen Einheitlichkeit für Wissenschaft und Praxis braucht

<sup>8)</sup> In einer kritischen Erörterung der Ergebnisse der letzten Arbeit von Burt und Edgar im Vergleich zu denen älterer Untersuchungen kommt Guye (Journ. de Chim. physique 15 (1917), 208) zu dem Resultat, daß das wahre Atomgewicht des Wasserstoffs zwischen den Grenzwerten 1,00767 und 1,00770 liegen muß.

nicht erörtert zu werden. Der Weltkrieg hat diese Einheit gestört. Die Atomgewichtstabelle von 1916 ist die letzte gewesen, die von dem deutschen Mitgliede W. Ostwald mitunterzeichnet wurde. In dem im Jahre 1917 erschienenen Bericht spricht F. W. Clarke, der amerikanische Vertreter, von den Schwierigkeiten, die der Ausschuß in seinem schriftlichen Verkehr gefunden habe und der Unmöglichkeit, das deutsche Mitglied zu hören. Trotzdem diese Möglichkeit längst wiederhergestellt ist, ist es bei dieser höflich verschleierte Ablehnung der deutschen Mitwirkung geblieben, und die ehemals internationale Kommission ist seitdem ihre eigenen Wege gegangen. Die Deutsche Chemische Gesellschaft hat deshalb unter Zustimmung der Deutschen Bunsengesellschaft und des Vereins Deutscher Chemiker eine „Deutsche Atomgewichtskommission“ gewählt (W. Ostwald, M. Bodenstein, O. Hahn, O. Hönigschmid, R. J. Meyer), der die Aufgabe übertragen wurde, einen Bericht über die in den letzten Jahren ausgeführten Atomgewichtsbestimmungen zu erstatten und eine neue Tabelle herauszugeben. Dieser Aufgabe hat sich die Kommission inzwischen entledigt<sup>9)</sup>. Im folgenden soll einiges über die Gesichtspunkte gesagt werden, die hierbei leitend gewesen sind.

Der wesentlichste Unterschied gegen früher besteht in einer Zerteilung der Atomgewichtstabelle in eine Tabelle der „Praktischen Atomgewichte“ (Verbindungsgewichte) und in eine „Tabelle der chemischen Elemente und Atomarten in der Reihenfolge der Ordnungszahlen“. Über diese Zerteilung sei hier nur soviel gesagt, daß die Schaffung der neuen Tabelle II sich im Hinblick auf die moderne Entwicklung geradezu aufdrängte. Sie gibt ein übersichtliches Bild von

<sup>9)</sup> Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. 54 A (1921), 181 bis 188; 55 A (1922) I—LXXXV.

dem gegenwärtigen Stande der Isotopenfrage und ist in erster Linie für den Gebrauch der Wissenschaft bestimmt. Über sie wird Näheres im Anschluß an den vorliegenden Artikel von anderer Seite berichtet werden, so daß wir uns hier auf die Besprechung der *praktischen* Atomgewichte beschränken können.

Die Aufgabe einer Atomgewichtskommission, die in erster Linie dazu berufen ist, zu entscheiden, ob eine neuere Bestimmung einen Fortschritt über das bis dahin Bekannte bedeutet, ist eine schwierige. Die Deutsche Kommission hat in ihrem jüngst erschienenen zweiten Bericht<sup>10)</sup>, der sich auf die in der Zeit von 1916 bis 1920 veröffentlichten Arbeiten bezieht, die einzelnen Abhandlungen in kritisch referierender Weise besprochen; er enthält also die Motive für die in der neuen Tabelle der praktischen Atomgewichte angenommenen Werte. Die Einsicht in ihn wird es ermöglichen, den Stand der Atomgewichtsfrage bei jedem Element, das in der Berichtsperiode Gegenstand der Untersuchung gewesen ist, kennen zu lernen. Diese Möglichkeit ist dadurch gegeben, daß bei jeder Arbeit nicht nur eine kurze Schilderung des Untersuchungsganges, sondern auch das gesamte Zahlenmaterial beigelegt wurde. Die Kommission ging dabei von der Erwägung aus, daß der Einblick in die zahlenmäßigen Ergebnisse der Bestimmungsreihen überhaupt erst ein Urteil über den Wert einer solchen Präzisionsarbeit zuläßt. Sie gedenkt einen ähnlichen Bericht auch in den kommenden Jahren regelmäßig herauszugeben. Auf diese Weise wird ein Archiv der Atomgewichtsbestimmungen geschaffen, das mit 1916 beginnend, das gesamte neuere Material vereinigt und das sowohl den auf diesem Gebiete arbeitenden Forschern als auch den Herausgebern von Lehr- und Handbüchern als zuverlässige Quelle dienen kann.

Was die allgemeinen Grundsätze betrifft, denen die Kommission bei ihrer Arbeit gefolgt ist, so muß man sie als bewußt konservativ bezeichnen. Sie hat sich den vielen Stimmen derer angeschlossen, die immer wieder gefordert haben, daß Änderungen eines geltenden Wertes möglichst selten und jedenfalls nur dann vorgenommen werden sollen, wenn eine Neubestimmung einen unzweideutigen erheblichen Fortschritt darstellt. Eine solche Zurückhaltung schien schon aus dem Grunde geboten, weil die einseitige Regelung einer ihrer Natur nach internationalen Angelegenheit durch einen nationalen Ausschuß nur einen provisorischen Charakter haben kann und schließlich doch einmal wieder durch internationale Zusammenarbeit abgelöst werden muß. Wenn andere Nationen dem Beispiel Deutschlands in der Aufstellung eigener Atomgewichtstabellen gefolgt sind, so scheint das zu beweisen, daß das Vertrauen zu der Kom-

mission, die sich auch im vorigen Jahre noch die „internationale“ nannte, im Schwinden begriffen war, eine Auffassung, in der man durch die wenig kritische letzte Atomgewichtstabelle dieser Kommission für 1921 bestärkt wird<sup>11)</sup>. Tatsächlich wurde im vorigen Jahre, offenbar auf die Anregung der der Wissenschaft leider allzu früh entrissenen *Ph. A. Guye*<sup>12)</sup>, eine Schweizer Atomgewichtskommission berufen, die ebenfalls eine Tabelle mit beigegebenem Bericht veröffentlichte<sup>13)</sup>, und ihrem Beispiel ist dann Spanien gefolgt<sup>14)</sup>. Daß diese Vermehrung nationaler Atomgewichtstabellen der Sache selbst nicht zum Nutzen gereicht, sondern in hohem Maße verwirrend wirken muß, braucht kaum hervorgehoben zu werden. Wenn die deutsche chemische Wissenschaft hiermit den Anfang gemacht hat, so befand sie sich infolge ihres Ausschlusses von der gemeinsamen Beratung in einer Zwangslage, von der die anderen Nationen nicht betroffen waren. Immerhin darf als erfreulich festgestellt werden, daß die Entscheidungen der deutschen Kommission sich im wesentlichen mit denen der Schweizer decken, wenn auch letztere in dem allzuweit getriebenen Bestreben, möglichst wenig zu ändern, in einigen Fällen veraltete Werte beibehalten hat, die nach der Meinung der deutschen Kommission unbedingt verbesserungsbedürftig waren. Die Tabelle der spanischen Kommission, die unter Führung von *E. Moles* arbeitet, unterscheidet sich im wesentlichen durch eine formale, aber bedeutsame Neuerung, indem sie den Versuch macht, den Genauigkeitsgrad der Zahlen äußerlich dadurch zu kennzeichnen, daß sie die letzten Dezimalstellen, deren Unsicherheit maximal etwa  $\frac{1}{3000}$  bis  $\frac{1}{4000}$  beträgt, in kleineren Zahlen als untere Indices anfügt. Ein solcher Versuch verdient natürlich weitgehende Beachtung. Ob die spanische Kommission hierin das Richtige getroffen hat, läßt sich nicht ohne weiteres übersehen. Die deutsche Kommission hat von derartigen Neuerungen zunächst abgesehen. Von der Erwägung ausgehend, daß die mathematische Auswertung der in einer Arbeit mitgeteilten Zahlenreihen, wenn sie noch so gut untereinander übereinstimmen, erst dann einen Sinn hat, wenn der ganze Gang der betreffenden Untersuchung von der Reindarstellung des Ausgangsmaterials an bis zur letzten Wägung nachweislich frei von „konstanten“ oder „objektiven“ Fehlerquellen ist, hat die deutsche Kommission jede Abhandlung, die zur Prüfung vorlag, im ganzen zu würdigen versucht und sich von der Aufstellung allgemeingültiger Regeln ferngehalten. Sie darf infolge ihres behutsamen Vorgehens die Erwar-

<sup>11)</sup> Von einer geplanten, vollkommen neuen Organisation der „internationalen“ Kommission berichten die ausländischen Zeitschriften.

<sup>12)</sup> Gestorben in Genf am 27. März 1922.

<sup>13)</sup> *Helvetica chimica acta* 4 (1921), 449.

<sup>14)</sup> *Annales de la Sociedad Espanola de Fisica y Quimica* 20 (1922), 25.

<sup>10)</sup> Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. 55 A (1922), Juni, I—LXXXV.



tung hegen, daß bei einer endgültigen Regelung die deutsche Tabelle unschwer den Anschluß an eine spätere, im wahren Sinne internationale Tabelle gewinnen wird, so daß ihr Benutzer vor späteren gewaltsamen und verwirrenden Umstellungen bewahrt bleiben wird.

#### 5. Wert genauester Atomgewichtsbestimmungen.

Zum Schluß möge noch die neuerdings besonders in ausländischen Zeitschriften viel erörterte Frage aufgeworfen werden, ob sich heute noch die unendliche Mühe lohnt, die man auf die Erreichung höchster Genauigkeit bei der Bestimmung der Atomgewichte verwendet. Das praktische Bedürfnis des Chemikers stellt in dieser Beziehung keineswegs so weitgehende Forderungen wie die Präzisionsforschung. Für die Ausführung einer organischen Elementaranalyse ist es beispielsweise ganz gleichgültig, ob das Atomgewicht des Wasserstoffs 1,000 oder 1,0077 ist. Die Phosphat- und Düngemittelindustrie wird mit dem Atomgewicht 31,0 für Phosphor bei ihren Betriebsanalysen ebenso gut auskommen wie mit dem genauen Wert 31,04, und die Thoriumindustrie kann ohne Schaden mit dem abgerundeten Wert für Thorium 232 statt 232,1 rechnen. Diese Sachlage böte an sich keine Veranlassung, von der Forderung höchster Präzision im wissenschaftlichen Interesse abzugehen; man hat aber die neueste Entwicklung gelehrt, daß die praktischen Atomgewichte bei der Mehrzahl der Elemente nur Mittelwerte aus den Einzelatomgewichten der Isotopen darstellen. Diese Erkenntnis hat jedenfalls dazu beigetragen, daß die Bemühungen um die Ermittlung von genauen Atomgewichten etwas von der ihnen früher entgegengebrachten Wertschätzung verloren haben. Ist das Atomgewicht heute noch als eine Naturkonstante anzusehen, nachdem es im periodischen System durch die Ordnungszahl gewissermaßen entthront worden ist? Man muß diese Frage bejahen, denn man hat bisher in allen Fällen, in denen eine solche Prüfung überhaupt stattgefunden hat, feststellen können, daß der Wert für das Atomgewicht eines Elementes stets konstant ist, unabhängig von der Herkunft<sup>15)</sup>, dem geologischen und geographischen Vorkommen des Materials, an dem es bestimmt wurde. *Bor* italienischer Herkunft hat dasselbe Atomgewicht wie das aus dem Staßfurter Boracit oder das aus einer borsäurereichen Quelle in Neuseeland gewonnene; Eisen und Nickel irdischen und meteorischen Ursprungs unterscheiden sich in keiner Weise; das gleiche gilt von Chlorproben verschiedenster Herkunft<sup>16)</sup>, und schließlich haben ganz jüngst *Brönstedt* und *v. Hevesy*<sup>17)</sup>

die Dichte des Quecksilbers, dieses wohl isotopenreichsten Elementes, an zehn Proben völlig verschiedenen Vorkommens als identisch gefunden. Das Verhältnis, in dem die Isotopen in den Elementen enthalten sind, ist also nach Erstarrung der Erdkruste immer und überall dasselbe geblieben, und somit behält das praktische Atomgewicht oder Verbindungsgewicht seine alte Bedeutung als fundamentale Konstante. Darüber hinaus verlangt aber gerade die Lehre von den Isotopen Atomgewichtsbestimmungen von höchster Präzision. Die Entmischung der Isotopen, die Ganzzahligkeit der Atomgewichte, die durch die Massenspektrographie als Reinelemente erkannt wurden, die Abweichungen von der Ganzzahligkeit und die hiermit zusammenhängende Frage der Massendefekte, die Rydbergsche Regel über die Gerad- und Ungeradzahligkeit der Elemente mit paarer bzw. unpaarer Ordnungszahl, alle diese Probleme bedürfen noch der Kontrolle durch genaueste Ermittlung des Atomgewichts auf chemischem Wege. Die Vervollkommenung der von *Aston* in so meisterhafter Weise ausgeübten Methode der Massenspektrographie hat es jetzt ermöglicht, aus der Intensität der den Einzelatomgewichten zugeordneten Linien das Verhältnis der Isotopen und damit das praktische Atomgewicht mit einer solchen Annäherung zu berechnen, daß die Kontrolle der hierdurch gewonnenen Näherungswerte durch die chemische Methode nunmehr eine der wichtigsten Aufgaben sein wird, denn vorläufig ist die chemische Methode der physikalischen noch überlegen. Wie bedeutsam in diesem Sinne die genaueste Bestimmung der Atomgewichte ist, möge zum Schluß an einem Beispiel erläutert werden. Das Atomgewicht des Bors wurde auf Grund älterer Untersuchungen als ganzzahlig = 11,0 angenommen. Dieses Ergebnis widerspricht der Beobachtung von *Aston*, nach der das Bor aus zwei Isotopen mit den Massen 10 und 11 besteht, woraus ein kleineres Atomgewicht als 11 folgt. Tatsächlich hat eine Revision durch *Smith* und *van Haagen* im Jahre 1918 den Wert 10,90 ergeben, während die neueste Bestimmung durch *Hönigsmid*<sup>18)</sup> die noch niedrigere Zahl 10,82 ergibt. Es lieferte nämlich die Ermittlung des Verhältnisses  $\text{BCl}_3 : \text{Ag} : \text{AgCl}$  in den verschiedenen Bestimmungsreihen folgendes Resultat:

$$\text{I. } \text{BCl}_3 : 3 \text{ Ag} = 10,817 \pm 0,003$$

$$\text{BCl}_3 : 3 \text{ AgCl} = 10,818 \pm 0,001$$

$$\text{II. } \text{BCl}_3 : 3 \text{ Ag} = 10,822 \pm 0,004$$

$$\text{BCl}_3 : 3 \text{ AgCl} = 10,827 \pm 0,007$$

Diese mit größter Sorgfalt nach der Harvardmethode ausgeführten Bestimmungen, die jedes Vertrauen verdienen, bestätigen mit großer Annäherung die Beobachtung von *Aston*, nach der der Maximalwert für Bor 10,8 betragen soll.

<sup>18)</sup> Nach einem auf der Hauptversammlung der Deutschen Bunsengesellschaft in Leipzig von Herrn O. *Hönigsmid* gehaltenen Vortrage.

<sup>15)</sup> Von aus radioaktiven Prozessen hervorgegangenen Endprodukten (Blei) ist hier nicht die Rede.

<sup>16)</sup> Nach *J. Curie* soll allerdings das Chlor aus einem zentralafrikanischen Mineral um 3 % schwerer sein als das gewöhnliche. *Compt. rend.* 172 (1921), 1025.

<sup>17)</sup> *Zeitschr. f. anorgan. u. allg. Chemie* 124 (1922), 22; hier auch die ältere Literatur über diesen Gegenstand.

Als Endresultat ergibt sich, daß die meisten Probleme, die mit den genetischen Beziehungen der Elemente und mit ihrem Aufbau zusammenhängen, wie sie uns die Lehre von der Radioaktivität und das periodische System in seiner neuen Form erschlossen hat, zu ihrer völligen Klärung im höchsten quantitativen Sinne voraussichtlich noch auf lange Zeit der Beihilfe feinsten chemischer Präzisionsarbeit bedürfen werden.

### Über die Massenverteilung im Erdinneren, verglichen mit der Struktur gewisser Meteoriten.

Von V. M. Goldschmidt, Kristiania.

Die Ergebnisse der Seismologie lehren uns bekanntlich, daß im Erdinnern eine Schalenanordnung verschieden dichter Stoffe angenommen werden muß, derart, daß um einen schweren Erdkern nach außen hin immer leichtere Stoffe angeordnet sein müssen. Über den stofflichen Bestand der einzelnen Schalen wissen wir, daß die äußerste Erdkruste aus verhältnismäßig leichten Silikaten besteht, der Erdkern hingegen höchstwahrscheinlich aus Nickeleisen. Für die dazwischen liegenden Schalen nimmt man gemeinhin an, daß diese vorzugsweise aus Magnesiumsilikaten bestehen, eventuell gemischt mit Nickeleisen.

Ich möchte annehmen, daß man, gestützt auf neuere Ergebnisse der Petrographie, zu wahrscheinlicheren Annahmen über die Beschaffenheit dieser Schalen gelangen kann.

Die Zusammensetzung der äußersten festen Schale, der Silikathülle, kennen wir mittels Durchschnittszahlen aus den Analysen frischer Eruptivgesteine, wie sie beispielsweise zuletzt von *H. S. Washington* berechnet worden sind. Die Dichte dieser Silikathülle können wir zu etwa 2,8 veranschlagen, in Übereinstimmung mit der Dichte des Opdalits<sup>1)</sup>. Die Dicke dieser Schale wird auf etwa 120 km geschätzt, nach den Ergebnissen über die Ausgleichstiefe der Schwereanomalien.

Unter dieser Silikathülle wird gewöhnlich eine schmelzflüssige Schale basischer Silikate angenommen. Neuere petrographische Arbeiten, insbesondere *P. Eskolas* wichtige Arbeiten über die Eklogite machen es mir indes wahrscheinlicher, daß diese Schale aus festen Silikatgesteinen in einem Zustande besonderer Kompression besteht, einem Zustande, in welchem die jeweilig dichtesten Minerale und Mineralkombinationen vorliegen.

<sup>1)</sup> Der Opdalit ist ein vom Verf. entdecktes Tiefengestein, welches in seiner chemischen Zusammensetzung sehr nahe der Durchschnittszusammensetzung der Silikathülle entspricht. Er besteht aus Plagioklas (Andesin, etwa 43 %), Kalifeldspat (etwa 14 %), Biotit (etwa 10 %), diopsidischem Augit (etwa 5 %), Hypersthen (etwa 9 %), Quarz (etwa 15 %) sowie ca. 2 % Erzen und Apatit.

Eklogitgesteine von ungefähr gabbroider Zusammensetzung besitzen eine Dichte von etwa 3,6, bei Druckentlastung gehen sie in Gabbrogesteine bzw. Gabbroschmelzflüsse über, mit einer Dichte von etwa 3. Die Möglichkeit isostatischen Ausgleichs an der Grenzfläche zwischen Silikathülle und Eklogitschale ist durch die bedeutende Volumenänderung beim Übergang gegeben. Bei lokaler oder regionaler Zunahme des Belastungsdruckes nimmt unter der Druckstelle die Menge der im Eklogitzustand befindlichen Substanz zu, bei Druckentlastung wird der Eklogit in leichtere Silikate oder Silikatschmelzflüsse verwandelt. Druckentlastung ohne gleichzeitige Temperaturerniedrigung kann nämlich innerhalb eines gewissen Temperaturintervalles zur Schmelzung von Eklogit unter Entstehung von Basaltmagma führen. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß der Herd vulkanischer Erscheinungen in manchen Fällen eben an der Grenze zwischen Silikathülle und Eklogitschale zu suchen ist. Hierfür spricht das

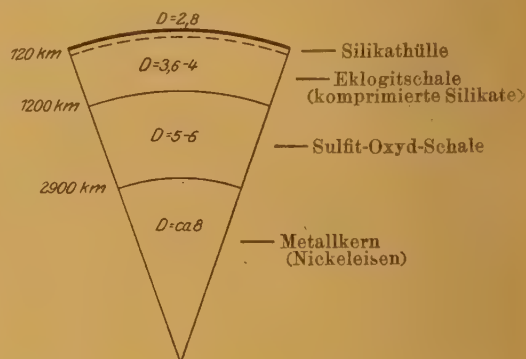


Fig. 1. Durchschnitt durch die Erde.

Auftreten von Eklogiteinschlüssen beispielsweise in den Kimberlitdurchbrüchen in Südafrika<sup>2)</sup>.

Die Eklogitschale ist die normale Heimat einer Reihe spezifisch schwerer Minerale, die nur ausnahmsweise in höheren Teilen der Erdrinde entstehen können, wie besonders Pyrop, jadeitische und chloromelanitische Pyroxene sowie Diamant.

Die Eklogitschale dürfte bis zu einer Tiefe von etwa 1200 km hinabreichen<sup>3)</sup>, in dieser Tiefe trifft man eine Unstetigkeitsfläche gegen eine tiefere und vermutlich wesentlich schwerere Schale. Man hat in der Regel angenommen, daß in den tieferen Teilen der Steinschalen eine zunehmende Beimengung metallischen Eisens (bzw. Nickeleisens) auf-

<sup>2)</sup> Solche Eklogiteinschlüsse in Explosionsschloten dürften wohl der Eklogitschale entstammen, hierfür spricht neben der Art des geologischen Auftretens besonders auch das Vorkommen des Diamanten. Die meisten anderen Eklogitvorkommen, die uns zugänglich sind, stammen jedoch nicht aus der Eklogitschale, sondern sind lokale Bildungen in der äußeren Silikathülle, entstanden durch lokale Drucksteigerung in Faltungsregionen, wie beispielsweise die alpinen Eklogitgesteine.

<sup>3)</sup> In den tieferen Teilen der Eklogitschale dürfte die Dichte bis ca. 4 ansteigen.



tritt. Bei dem großen Dichteunterschied zwischen den schwersten gesteinsbildenden Silikaten einerseits (Dichte 3,6—4), Nickeleisen andererseits (Dichte 7,6—8) halte ich es nicht für wahrscheinlich, daß in dem *starken Schwerefeld* der Erde eine solche *Mischung* bestandfähig wäre, wenigstens nicht in Gesteinen, die zeitweilig in schmelzflüssigem Zustande gewesen sind. Ich möchte deshalb annehmen, daß unter den tiefsten Teilen der einigermaßen reinen Silikatschalen nicht eine Mischung von Silikaten und Eisen auftritt, sondern solche Stoffe, die einerseits schwerer als die Silikate sind, andererseits leichter als der eigentliche Eisenkern. Derartige Stoffe sind insbesondere gewisse sulfidische und oxydische Erze. Ich möchte deshalb glauben, daß unterhalb der Eklogitschale, mehr oder weniger scharf abgegrenzt gegen diese, eine Schale von Sulfiden und Oxyden auftritt. Diese dürfte vorwiegend aus Schwefeleisen und Magnetit bestehen, daneben dürfte sie Chromit, Titaneisen und Rutil enthalten sowie kleinere Mengen noch anderer Sulfide als nur die des Eisens. Die Bildung dieser Schale dürfte teilweise durch Entmischung in flüssigem Zustande, teilweise durch Absinken fester oxydischer Erze bzw. flüssiger Sulfidmagmen aus dem Steinmantel vor sich gegangen sein. Ob diese Sulfid-Oxyd-Schale in sich homogen ist oder selbst wieder eine Unterteilung nach der Dichte aufweist, erscheint noch ungewiß, doch ist letzteres wahrscheinlicher; ihre mittlere Dichte dürfte etwa gleich 5—6 zu setzen sein. Eine Schale aus „Eisenerzen“ wurde bereits von W. Klußmann angenommen. Diese Schale reicht nach seismologischen Daten bis zu einer Tiefe von etwa 2900 Kilometern, nach unten folgt dann der eigentliche Erdkern, der höchstwahrscheinlich aus Nickel-eisen mit einer Dichte gleich etwa 8 besteht.

Ein derartiger Schalenbau des Erdballs ist unumgänglich, falls die Erde ursprünglich schmelzflüssig gewesen ist, da ein Gemenge von Silikaten, Sulfiden und freiem Eisen in einem großen Temperaturgebiete oberhalb des Schmelzgebietes in *drei* unmischbare Flüssigkeiten zerfällt. Die Sonderung des silikatischen Anteils in eine äußere Hülle und eine innere Eklogitschale ist hingegen an eine mehr oder weniger vollständige Kristallisation geknüpft, während welcher Kristallisation auch noch eine Zunahme der Sulfid-Oxyd-Schale auf Kosten solcher Sulfide und Oxyde stattgefunden hat, die aus der kristallisierenden Silikatschale abgesunken sind.

Die relative Seltenheit der meisten technisch wichtigen Schwermetalle in der uns zugänglichen äußeren Silikathülle beruht nun offenbar darauf, daß bei der ersten Trennung des Erdkörpers in Metallkern, Sulfidschale und Silikatschale alle diejenigen Metalle, die leichter reduzierbar sind als Eisen oder besonders starke Affinität zum Schwefel besitzen, von vornherein vorzugsweise im Metallkern und in der ursprünglichen Sulfidschale angereichert wurden, so daß nur ein ganz

kleiner Bruchteil dieser Metalle in der Silikatschale verblieb. Auch von diesem kleinen Bruchteil sind bei der späteren Abkühlung der Silikatschale gewiß ganz bedeutende Mengen durch Absinken in die tieferen Teile des Erdkörpers gewandert. Diese Art der Verteilung von edlen und halbedlen Metallen zwischen Metallkern, Sulfid-Oxyd-Schale und Silikatschale entspricht durchaus den metallurgischen Trennungsoperationen<sup>4)</sup> bei der Bildung von „Schlacke“, „Stein“ und „Eisensau“. H. S. Washington hat die chemischen Elemente ebenfalls in „metallogenetische“ und „petrogenetische“ eingeteilt, nach ihrem Auftreten teils in der silikatischen Hülle, teils in den metallischen Kernregionen.

Eine notwendige Vorbedingung für die Entstehung eines solchen konzentrischen Schalenbaues, wie er dem Erdbau zugrunde liegt, ist das Vorhandensein eines genügend starken *Schwerefeldes*, wie es etwa durch die eigene Masse der Erde hervorgerufen wird. Bei kleineren kosmischen Massen mag in vielen Fällen das Schwerefeld ungenügend sein, um eine solche, relativ scharfe räumliche Sonderung zu bewirken. Ich möchte glauben, daß manche Meteoriten, insbesondere die *Pallasite*, instructive Beispiele für diese Erscheinung bieten.

In den meisten Pallasiten bilden die Silikate (vor allem der Olivin) rundliche Einschlüsse im Nickeleisen, die offenbar in der Weise entstanden sind, daß flüssige Silikattropfen in einem Metallschmelzflusse suspendiert waren. Eine solche Suspension wäre in starken Schwerefeldern äußerst unbeständig; das System würde sich in Metallschmelze und Silikatschmelze trennen. Dasselbe gilt für eine Nickeleisenschmelze mit darin suspendierten *festen* Silikatkörnern. Nur durch sehr schnelle Erstarrung könnte ein solcher instabiler Zustand im irdischen Schwerefeld arretiert werden, nun zeigt aber die Struktur des Eisenanteils in Pallasiten keinerlei Merkmale sehr plötzlicher Kristallisation<sup>5)</sup>. Wir werden deshalb zu der Folgerung geführt, daß die Pallasite zur Zeit ihrer Erstarrung sich nicht in einem starken Schwerefeld befunden haben, daß sie also offenbar einem *relativ kleinen Himmelskörper* angehört haben und nicht feste Bruchstücke eines bereits erstarrten *großen Körpers* sein können, falls sie

<sup>4)</sup> Aus den Betrachtungen, in denen ich oben die Entstehungsweise des Schalenbaus im Erdkörper dargestellt habe, ersieht man, daß die Silikathülle der Erde systematisch ihres Inhalts an manchen wertvollen Metallen beraubt worden ist, erstens durch die ungünstige Primärverteilung dieser Metalle zwischen Silikatschmelze, Sulfidschmelze und Metallschmelze, zweitens durch späteres Absinken bei der Kristallisation. Letzterer Umstand hat insbesondere solche spezifisch schweren Metalle getroffen, die leicht reduzierbar sind und einen hohen Schmelzpunkt besitzen (also frühzeitig aus der Silikatschmelze auskristallisieren). Die Seltenheit des Platins in den Gesteinen der Silikathülle dürfte hierin begründet sein.

<sup>5)</sup> Die Struktur des Eisenanteils deutet im Gegenteil auf eine sehr langsame Kristallisation.

nicht etwa einer späteren Umschmelzung unterworfen worden sind. Ihre Erstarrungsgeschichte hat sich jedenfalls *ohne* Gegenwart eines starken anisotropen Schwerfeldes abgespielt.

Im selben Sinne, wenngleich nicht dertart kraß, kann das Auftreten von Troilit- (und Troilit-Chromit-) Knollen in meteorischem Nickel-eisen gedeutet werden. Diese Knollen entsprechen der Sulfid-Oxyd-Schale im Erdinnern.

Es wäre von großem Interesse, die Gesamtheit der Meteoriten auf den Grad ihrer Schweresonderung zu untersuchen, da man hieraus vielleicht zu weiteren Aufschlüssen über ihre Herkunft und Geschichte gelangen könnte.

In *manchen* Eisenmeteoriten findet man ungleichmäßige Verteilung der leichteren Einschlüsse im Nickeleisen, wie lokale, unsymmetrische Anreicherung von Olivinkristallen, schlierige oder streifenförmige Anordnung des Schwefeleisens, welches darauf hindeutet, daß gewisse, wenn auch *schwache* Schwerewirkungen ihren Einfluß geltend machten, während das Nickeleisen noch flüssig war<sup>9)</sup>.

Von besonderem Interesse wäre es auch, die *Erstarrungsgeschichte* der Pallasite näher zu studieren, um insbesondere die Frage zu behandeln, in *welchen* Pallasiten die Silikattropfen bereits vor Erstarrung des Metallbades erstarrten, in *welchen* erst *nachher*, und ob diese Erstarrungsgeschichte in Beziehung zu den Schmelzdiagrammen Nickel-Eisen und Olivin-Fayalit gebracht werden kann.

In Meteoriten finden wir niemals Mineralkombinationen, welche der Eklogitschale der Erde entsprechen würden; dies hat offenbar seinen Grund darin, daß in *kleinen* Himmelskörpern nicht der notwendige Belastungsdruck für die Bildung von Eklogiten aufgebracht werden kann.

Das Vorkommen von Diamant als Seltenheit in einzelnen Meteoreisen könnte zwar auf Bildungsbedingungen hindeuten, welche mit der Eklogitfacies vergleichbar sind, immerhin kann der Diamant auch *ohne* starken Belastungsdruck entstanden sein, in Analogie mit *Moissans* bekannter Synthese.

Das Auftreten von solchen Struktureigentümlichkeiten, die auf Abwesenheit starker Gravitationswirkungen hindeuten, bringt uns zu der Frage, ob es experimentell gelingen könnte, solche Strukturen nachzuahmen, wie sie den Pallasiten zu eigen sind. Im Laboratorium oder im technischen Schmelzofen sind die Einwirkungen des Schwerfeldes nicht zu eliminieren, wir können keine dauernde Suspension von Silikattropfen in geschmolzenem Nickeleisen herstellen; es beruht ja die technische Herstellung von Eisen im Hochofen gerade auf der gravitativen Sonderung von Eisen und Silikatschlacke. Es bietet sich nur *eine* Möglichkeit, den Einfluß eines Schwerfeldes (bzw. Trägheitsfeldes) bei einem Schmelzversuch

weitgehend auszuschalten, nämlich den Versuch in einer frei fallenden Schmelzmasse auszuführen, die genügend schwer ist, um die Hemmung durch Luftwiderstand weitgehend auszuschalten, etwa indem man die Schmelze in einen granatenförmigen Behälter von einem Flugzeug hinabfallen ließe.

## Neue physiologische Untersuchungen über das Leben in den Anden.

Von A. Loewy, Berlin.

In der Nummer vom 29. Juli d. J. der englischen Zeitschrift *Nature* findet sich ein Aufsatz des bekannten Cambridger Physiologen J. Barcroft: „The physiology of life in the Andes.“

Er enthält in kurzer Darstellung die Ergebnisse von Untersuchungen, die in den peruanischen Anden angestellt wurden. Sie betreffen die Besonderheiten im Ablauf der physiologischen Vorgänge, welche ein beschwerdefreies und körperliche Arbeit gestattendes Leben in jenen Hochregionen für die Eingeborenen ermöglichen, und die Anpassungsvorgänge, die bei Tiefländern sich allmählich ausbilden, wenn sie längere Zeit in diesen Höhen leben, und die dazu führen, daß auch *diese*, wenigstens bei Körperruhe, schließlich keinerlei Krankheitssymptome mehr zeigen.

Beim Lesen des Barcroftschen Berichtes muß denjenigen, der selbst in den Zeiten von Deutschlands Glanz und Ruhm an ähnlichen Unternehmungen sich beteiligt hat, ein Gefühl der Niedergeschlagenheit und des Neides beschleichen bei der Wahrnehmung, daß deutsche Forscher heute und wohl noch für lange Zeit außerstande sind, derartige Untersuchungen auch nur zu planen, während die angelsächsischen Forscher schon kurz nach Beendigung des Weltkrieges in der Lage waren, an große wissenschaftliche Unternehmungen heranzugehen und Gegenstände weiterzufördern, an deren bisheriger Bearbeitung die deutsche Wissenschaft einen nicht geringen Anteil hatte.

Aus der Darstellung *Barcrofts* geht dieser Anteil allerdings nicht hervor, denn sie beschränkt sich auf die Beschreibung der eigenen Expedition und deren Ergebnisse. Letztere bestätigen vielfach nur die älteren Befunde. In einigen Punkten jedoch bringen sie neue und überraschende Kenntnisse.

Mit Unterstützung verschiedener englischer und amerikanischer Institute und mit Hilfe von Spenden von privater Seite bildeten sich eine englische und eine amerikanische Abteilung, deren erste von Liverpool, deren zweite von New York nach Lima aufbrach. Von dort ging die Reise mit der transandinischen Bahn über die Randkordillere in Höhe von 5300 m hinab nach Oroya (4000 m), das in den Steppen zwischen den beiden parallelen Kordillerenketten gelegen ist, und von da nach dem Bestimmungsorte Cerro de

<sup>9)</sup> Möglicherweise durch Rotation des Meteoriten (Zentrifugalkraft) hervorgebracht.



Pasco (4500 m hoch). Dieser Ort hat verschiedene Vorzüge vor den bisher für physiologische Höhenuntersuchungen benutzten. In Europa kam in dieser Hinsicht bisher — von Untersuchungen in niedrigeren Höhenlagen abgesehen — der Monte Rosa in Betracht, an dessen Nordabhang Zuntz und Schumburg 1894 sowie später Kroncker ihre Untersuchungen anstellten, an dessen Südabhang und auf dessen zweiter Spitze (Gniffetispitze, deutsch Signalkuppe), von Süden kommend, Mosso in den letzten Jahren des verflossenen Jahrhunderts in mehreren Expeditionen seine Forschungen durchführte. Auf Mossos Arbeitsgebiet betätigten sich später die Brüder Loewy und L. Zuntz, sodann N. Zuntz, Loewy, Müller, Caspari (1901), Zuntz und Durig 1905 sowie Fuchs und kurz vor dem Kriege Kestner mit mehreren Mitarbeitern. In allen diesen Untersuchungen wurde der Einfluß einer Höhe von 3900 m und 4560 m auf die physiologischen Vorgänge erforscht, sowohl am Menschen wie an verschiedenen Säugetieren.

Den gleichen Zwecken ist weiter dienstbar gemacht worden der Pic von Teneriffa, wo schon 1878 Marcet sich mit Untersuchungen über den respiratorischen Stoffwechsel betätigte, dann Zuntz in Gemeinschaft mit Durig, von Schrötter, Barcroft und Douglas. Endlich wurde der Pikes Peak in Colorado von einer Reihe englischer und amerikanischer Physiologen unter Führung von Haldane (Oxford) zu physiologischen Untersuchungen aufgesucht.

Dieser langen Reihe von wissenschaftlichen Unternehmungen schließt sich nun die hier beschriebene an, an der (außer Barcroft) I. C. Meakins aus Edinburgh, H. Daggart aus Cambridge, und von amerikanischer Seite Bock, Forbes (von der Harvard-Universität), Redfield (Toronto), George Harrop und C. Binger (New York) teilnehmen.

Cerro de Pasco wurde gewählt, weil es bequem besonders für den Transport wissenschaftlicher Apparate zu erreichen ist, weil es trotz seiner beträchtlichen Höhenlage in noch bewohnten Gegenden liegt, was den Unterhalt der Mitglieder der Expedition sehr erleichtert, ferner weil reichlich Wasser vorhanden ist, was für die Ausführung der Untersuchungen wesentlich ist. Dabei gibt es in Cerro de Pasco einen alten, aus spanischer Zeit stammenden Bergwerksbetrieb, und mit Hilfe von dessen (englischen) Ingenieuren wurde ein Güterwagen als Laboratorium eingerichtet, das mit elektrischem Licht, elektrischer Kraft und Heizung ausgestattet wurde, und in dem selbst eine Einrichtung für Röntgenuntersuchungen angebracht wurde. Cerro de Pasco spielt übrigens in den Reisebeschreibungen von Hoch-Peru seit langem eine Rolle. Schon in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurde es von Tschudi und Pöppig besucht, und Beschreibungen der Bergkrankheit knüpfen sich an seinen Namen.

Die Eingeborenen, von indianischer Abkunft,

werden „Cholo“ genannt, sind von kleiner Statur und blaß oder doch nur wenig blutreich im Gesicht. Sie sind breit gebaut. Messungen des Brustumfanges ergaben eine ungewöhnlich hohe Zahl. Von Dreyer rühren Tabellen her, in denen die Beziehung zwischen Brustumfang und Rumpflänge bei gesunden Europäern (Engländern) zusammengestellt sind. Entsprechend ihrer Rumpflänge hätte der Brustumfang der Cholo 79 cm betragen müssen, während er in Wirklichkeit 92 cm ausmachte. Bei den Expeditionsmitgliedern lag der Brustumfang nur wenig über dem nach der Rumpflänge zu erwartenden Werte. Der erhebliche Brustumfang von Hochgebirgsbewohnern ist schon früher erkannt worden. So berichtet darüber meines Wissens Jourdanet (Infl. de la pression de l'air etc., Paris 1875) nach Beobachtungen in Mexiko. Röntgenbilder des Brustkorbes zeigten nun, daß die Rippenstellung der Cholos von der der Tiefenbewohner abweicht. Der Ansatz der Rippen an der Wirbelsäule geschieht unter einem weniger spitzen Winkel, ihr Verlauf von der Wirbelsäule ab erfolgt mehr horizontal. Barcroft möchte dies als kompensatorischen Vorgang ansehen, durch den das Blut befähigt werden soll, leichter Sauerstoff aufzunehmen, indem er darauf hinweist, daß im Tieflande Kranke, die an Lungenerweiterung oder anderen, mit Luftmangel einhergehenden Krankheiten leiden, eine ähnliche Form des Brustkastens zeigen. Interessant ist auch, daß bei den Eingeborenen in Cerro de Pasco nicht selten sogenannte „Trommelschlägerfinger“ gefunden werden, d. h. kolbige Verdickungen der Endglieder der Finger. Im Tieflande findet man sie nur unter krankhaften Verhältnissen, bei Zuständen, bei denen die Sauerstoffversorgung der extremen Körperteile unzureichend ist.

Soll die Sauerstoffarmut bzw. der abnorm niedrige Sauerstoffdruck der Höhenluft und die daraus sich ergebende Erschwerung der Sauerstoffversorgung des menschlichen und tierischen Körpers kompensiert werden, so läßt sich theoretisch eine ganze Reihe von physiologischen Vorgängen ableiten, die geeignet sind, die Sauerstoffversorgung der Körpergewebe zu verbessern. Aller dieser bedient sich die Natur nicht. So könnte ein beschleunigter Blutkreislauf zu einer vermehrten Sauerstoffzufuhr zu den Geweben führen und damit den Eintritt des Sauerstoffmangels hinausschieben. Jedoch tritt eine Blutstrombeschleunigung im Hochgebirge nicht ein. Dieser negative Befund von Barcroft und Genossen bestätigt, was schon vor langer Zeit Loewy für den Aufenthalt im luftverdünnten Raum der pneumatischen Kammer in Versuchen an Hunden zeigen konnte (Respiration und Zirkulation usw., Berlin 1895) und was neuerlich mit anderer Methode von Doi (Journal of Physiology 55, 1921) wieder festgestellt wurde.

Dagegen dienen der vermehrten Sauerstoffzufuhr Vorgänge, die die Verfasser in Überein-

stimmung mit den Befunden der früheren Forscher in anderen Gebirgsgegenden feststellen konnten. Zunächst eine *Steigerung der Lungenventilation*. Diese führt zu einer Steigerung der Sauerstoffmenge und damit des Sauerstoffdrucks in den Lungenbläschen. Dadurch wird die Sauerstoffaufnahme des die Lungengefäße durchströmenden Blutes und damit die den Geweben zur Verfügung stehende Sauerstoffmenge vermehrt. Sie wird weiterhin vermehrt durch *Zunahme der Blutfarbstoffmenge*, und diese kommt durch Zunahme der Zahl der roten Blutzellen zustande. Diese dem Höhenklima eigentümlichen Veränderungen sind vielfach studiert worden und immer wieder bestätigt. Zuerst wurden sie von *Viault* festgestellt, der sie, ebenso wie *Barcroft* und Genossen, beim Aufstieg von Lima auf die Peruanischen Anden nachweisen konnte. Man wollte, als *Viault* seine Befunde bekanntgab, nicht recht an deren Wirklichkeit glauben, da man dem Gedanken nicht Raum geben wollte, daß ein klimatischer Einfluß eine Konstante, wie es die Zahl der roten Blutzellen ist, ändern sollte, und da eine Änderung der Zellenzahl im Kubikmillimeter Blut — und stets wurde nur diese bestimmt — noch nicht beweisend war für eine *absolute* Zunahme der *Gesamtzellenzahl* im Körper. Sie könnte auch durch eine nur relative Vermehrung erklärt werden, d. h. durch eine Änderung im Verhältnis von Zellenzahl zu Blutflüssigkeit im Sinne einer Abnahme der letzteren. Jedoch ist schließlich durch direkte Bestimmung der *Gesamthämoglobinmenge* im Körper die Tatsache der *absoluten* Vermehrung sicher erwiesen worden.

So kann es nicht mehr wundernehmen, wenn *Barcroft* angibt, auch die Veränderung einer anderen Konstante festgestellt zu haben, nämlich eine *Änderung in der Bindungsfähigkeit des Hämoglobins für Sauerstoff*. *Barcroft* ermittelte den Sauerstoffdruck in den Lungenbläschen und die im Arterienblute enthaltene Sauerstoffmenge und stellte aus den so gewonnenen Werten die Dissoziationsspannung des Oxyhämoglobins fest. Es fand sich, daß beim Aufenthalt in der Höhe von Cerro de Pasco das Hämoglobin fähig wurde, bei *gleichem* Sauerstoffdruck *mehr* Sauerstoff zu binden als normales Tieflandblut. Diese zweckmäßige Anpassung an die Sauerstoffarmut der Höhenluft ist wichtig, da sich das Blut beim Durchgang durch die Lungen dort nur unvollkommen mit Sauerstoff sättigt, so daß das Arterienblut nur zu 82 % bei den Eingeborenen; zu 85 % bei den Expeditionsteilnehmern mit Sauerstoff gesättigt zeigte, anstatt wie im Tieflande zu 95—96 % gesättigt zu sein. Damit ist die Grenze eines Sauerstoffmangels also nahegerückt. Bisher wurde von manchen Seiten angenommen, daß eine Sauerstoffsättigung des arteriellen Blutes zu 90 % notwendig sei, um dem Bedarf der Gewebe an Sauerstoff zu genügen.

Übrigens ist auch nach Untersuchungen von

*Krogh* und *Leitch* (Journ. of Physiology 1920) eine andere zweckmäßige Anpassung des Hämoglobins in bezug auf die Sauerstoffaufnahme bei bestimmten Sauerstoffdrucken bekannt. Sie betrifft das Hämoglobin von Fischen, von denen die einen gewöhnlich in sauerstoffreichem, die anderen gelegentlich auch in sauerstoffarmem Wasser leben. Die Dissoziationskurve verläuft bei beiden ganz verschieden. Bei der *ersten* Gruppe, die also nur ausnahmsweise niedrigen Sauerstoffdrucken ausgesetzt ist, wie Kabeljau von den Meerfischen, Forelle von den Frischwasserfischen, sättigt sich das Hämoglobin zur Hälfte mit Sauerstoff bei einem O<sub>2</sub>-Drucke von 18 mm, ganz ähnlich wie bei den Säugern. Bei der *zweiten* Gruppe jedoch, zu der unter den Frischwasserfischen Karpfen, Aal, Hecht gehören, sind nur 2—3 mm O<sub>2</sub>-Druck erforderlich, um eine Halbsättigung des Hämoglobins mit Sauerstoff zu bewirken. Diese Fischarten sind also bei weitem mehr befähigt, in sauerstoffarmem Wasser zu leben als die erstgenannten.

Die Unterschiede, die *individuell* in bezug auf den Umfang der Lungenventilation, der Hämoglobinmenge, der Sauerstoffbindung seitens des Hämoglobins bestehen, können die individuellen Verschiedenheiten in der Widerstandsfähigkeit gegen Luftverdünnung verständlich machen.

*Barcroft* und Genossen untersuchten aber noch eine weitere Beziehung, indem sie die von *Bohr* so genannte *Diffusionskonstante der Lunge* bei den verschiedenen Expeditionsteilnehmern bestimmten. *Bohr* bezeichnet mit diesem Ausdrucke die Beziehung zwischen der *Menge* des in der Minute durch die Lungenoberfläche in das Blut der Lungenkapillaren diffundierenden Sauerstoffes zu dem mittleren Unterschiede des Sauerstoffdruckes, der in den Lungenbläschen und dem Lungenkapillarblute herrscht. Die Differenz zwischen diesen beiden Sauerstoffdruckwerten stellt ja die Triebkraft dar, durch die die Sauerstoffdiffusion durch die Lungenwand geregelt wird. Dabei fand sich nun, daß die Teilnehmer der Expedition in zwei Gruppen geschieden werden konnten. Die der *einen* zugehörigen hatten eine Diffusionskonstante über 40, die der *anderen* unter 40. Dabei litten die der einen deutlich an verschiedenen Erscheinungen der Bergkrankheit, die der anderen waren davon verschont.

Wie weit dieser Befund für die Vorhersage über Disposition zur Bergkrankheit Bedeutung hat, soll weiter festgestellt werden dadurch, daß bei Ingenieuren, die in die Minendistrikte der Anden gehen wollen, die Diffusionskonstante der Lungen zuvor in New York festgestellt wird, und mit diesem Werte die Widerstandsfähigkeit gegen die Bergkrankheit verglichen wird.

Vielleicht werden auf *dieser* Grundlage die Schwierigkeiten, die sich bis jetzt der Erklärung der Bergkrankheit allein durch Sauerstoffmangel im Einzelfalle entgegenstellen, eine Lösung finden.



## Besprechungen<sup>1)</sup>.

**Titschack, E., Beiträge zu einer Monographie der Kleidermotte, *Tineola biselliella*.** Sep.-Abdr. a. d. Zeitschr. f. technische Biologie Bd. 10, H. 1/2. Leipzig, Gebr. Borntraeger, 1922. 168 S., 4 Taf. u. 91 Textabb.  $17\frac{1}{2} \times 25$  cm. Preis M. 225,—.

Die umfangreiche und sehr gründliche Arbeit wird durch einen historischen Abschnitt eingeleitet, in dem bereits eine Reihe höchst interessanter Fragen aufgerollt werden, wie z. B.: ob die drei der bekanntesten Mottenarten (*Tineola biselliella* = die Kleidermotte; *Tinea pellionella* = die Pelzmotte; *Trichophaga tapeiella* = die Tapetenmotte) aus der alten oder der neuen Welt stammen. Verf. betont, daß bei der Mangelhaftigkeit der historischen Berichte ein Entscheid nur vermutungsweise gefällt werden kann. Weiter kommt die Frage zur Besprechung, durch welche Ursachen und Umstände die obengenannten Formen typische Hausschädlinge wurden, ob die Anhäufung von Wollgut und Pelzen in Truhen und Speichern, ob die technische Herrichtung der Wolle hierfür verantwortlich zu machen ist oder was sonst in Betracht kommt.

Weiterhin enthält die Einleitung einen systematischen Schlüssel für die Wiedererkennung der drei obengenannten Arten, und zwar erstreckt sich dieser Schlüssel — wie meist — nicht nur auf die Vollkerfen, sondern es werden auch sichere Kennzeichen der Eier, Larven und Puppen gegeben. „Die Motte“ des Haushaltes ist aber in der überwältigenden Mehrzahl der Fälle *T. bis.* die Kleidermotte, mit der sich die Arbeit ausschließlich befaßt. In sieben großen Abschnitten werden dann eingehend behandelt: 1. Die Schmetterlinge (Größe und Schwere, Morphologie, sexueller Dimorphismus, Kopulation, Eiablage, parthenogetische Eier, Ernährung, Bewegung und Lebensdauer). 2. Die Eier. 3. Die Raupen (Entwicklung, Anatomie, Nahrungsaufnahme, Ernährung, Verdauung und Verwertung der Nahrung, Entwicklungsschnelligkeit, Gewichtszunahme, Nahrungsverbrauch, Hungerversuche, Wachstum und Häutungen, Spinnen der Raupen, Körperbau, Bewegungen). 4. Die Puppen. 5. Verhalten der Tiere unter künstlichen Bedingungen (Einfluß verschiedener Gase und flüssiger Chemikalien, Widerstandsfähigkeit gegen Wärme und Kälte, Licht, Feuchtigkeit und Trockenheit, Schüttelversuche und Versuche im Vakuum). 6. Die natürlichen Feinde der Motte. 7. Die Motte als Kulturschädling und ihre Bekämpfung.

Diese ganz gedrängte Inhaltsübersicht läßt schon erkennen, daß wir hier nur einige Punkte hervorheben können. Verf. hat sein Thema nach jeder Richtung hin sehr exakt durchgearbeitet und vor allem auch physiologische Fragen der Bearbeitung unterzogen. Durch dieses Vorgehen sind viele Punkte klar gestellt worden, über die bisher nur sehr ungenaue oder gar keine Angaben vorlagen. So z. B. prüfte *T.* die Frage, inwieweit die Weibchen zusagendes Nährmaterial für die Raupen ausfindig zu machen vermögen, um daran ihre Eier unterzubringen. Die Versuche verliefen alle negativ, d. h. die Weibchen lassen sich vor allem durch die *Rauhigkeit* der Unterlage — da sie selbst sich hier besser ankrallen können — veranlassen, ihre Eier daselbst abzusetzen. Im übrigen legen sie ihre Eier an Glas, Papier, Holz, Leder, Kork, Wolle ganz wahllos ab, sobald man ihnen diese Stoffe

zugleich bietet. Betreffs der Eizahl stellte Verf. fest, daß die Zahl der von einem Weibchen gelegten Eier sehr schwankt je nach der Qualität der Nahrung, die den Tieren *als Raupen* — die Vollkerfen fressen überhaupt niemals — zur Verfügung stand. Die durchschnittliche Eizahl von einem Weibchen betrug bei Ernährung der Raupen mit einer bestimmten geringwertigen Wolle = 90; bei Ernährung mit Fischmehl, Mehl, Eialbumin = 110 und bei Ernährung mit sehr guter Wolle = 130 Stück. Die höchste beobachtete Eizahl betrug 221.

Die Bewegung der Schmetterlinge wird vom Verf. genau analysiert, wobei er mit Sicherheit ermittelte, daß die Weibchen sehr selten, die Männchen sehr gern fliegen. Was im Zimmer als „Motte“ so gern gejagt wird, sind fast ausschließlich Männchen. Die Weibchen laufen sehr geschickt und suchen sich möglichst zu verstecken. Selbst von ihrem Sprungvermögen machen sie, im Gegensatz zu den Männchen, nur ungern Gebrauch. Die Ursachen dieses Verhaltens ermittelte *T.* in der Schwere der Tiere und ihrem Verhältnis zur Flugfläche.

Eingehend wird ferner der Freßakt und die Ernährung der Raupen dargestellt. Verf. fand, daß die großen Raupen fast alles abbeißen und verschlingen, was sich ihnen bietet, auch Baumwolle. Nur Stroh, Schreibpapier, Asbest, Textilien z. B. konnten die Tiere nicht bewältigen, dagegen griffen sie Kork, Jute, Nessel, Kokos, Leinen, Bienenwachs, Chromleder, Seide, Alaunleder, Chitin, Roßhaar, Schweineborsten, Menschenhaar, Federn, Fischmehl u. a. mehr an. Alle diese Stoffe werden gefressen, d. h. abgebissen (also zerstört) und zum Köcherbau verwendet. Als wirkliches Nährmaterial kommen aber viele der mitverschlungenen Dinge nicht in Frage. Der Frage der Keratinverdauung geht *T.* im Anschluß daran nach unter Angabe seiner zahlreichen Fütterungsversuche und erörtert des weiteren die Frage, wieviel die Raupen während ihrer Freizeit verbrauchen. — Die Untersuchungen über die Wirkungen verschiedener Chemikalien brachten wieder u. a. das Ergebnis, daß Schwefelkohlenstoff gegen alle Stadien bei genügend langer Entwicklungszeit ein sehr gutes Vernichtungsmittel ist. Ausführliche Angaben darüber wie über andere Mittel finden sich in einem besonderen Kapitel. Außerordentlich interessante Angaben finden sich in dem Abschnitte: Die Motte als Kulturschädling und ihre Bekämpfung. *T.* stellt z. B. fest, daß eine Motte zu ihrer Entwicklung zwischen 45—99 mg Wollstoff verbraucht. Wie groß unter Zugrundelegung dieser und anderer festgestellter Werte der Schaden sein kann, wird für diese beiden Werte berechnet. „Ein Weibchen legt 100 Eier, davon entwickeln sich 50 % bis zu Schmetterlingen, 33 % von diesen sind Weibchen, jede Raupe braucht zur Vollentwicklung 45 oder 99 mg Wolle — die extremen Werte — und in einem Jahre sollen sich vier Generationen entwickeln“; demnach ergibt sich in der

|                               |         |   |         |
|-------------------------------|---------|---|---------|
| I. Gen. ein Wollverbrauch von | 4,5 g   | — | 9,9 g   |
| II. „ „ „ „                   | 76,5 g  | — | 168,3 g |
| III. „ „ „ „                  | 1260 g  | — | 2272 g  |
| IV. „ „ „ „                   | 21,5 kg | — | 46,5 kg |

Wie aus diesen wohlbegründeten Berechnungen hervorgeht, ist der verursachte Schaden durch die Tiere ein gewaltiger und jedes Mittel und Verfahren zu ihrer Bekämpfung muß auf seine Brauchbarkeit geprüft werden. *T.* unterscheidet vier verschiedene Stufen der Mottenbekämpfung, auf die er im An-

<sup>1)</sup> Die Preise der Bücher sind ohne die Teuerungszuschläge eingesetzt.



schluß an obige Tatsachen zu sprechen kommt: a) mechanische Bekämpfung, b) prophylaktische Bekämpfung, c) biologische Bekämpfung, d) dauernder Schutz. Eingehender wird der letzte Punkt dargestellt und das Bestreben der Farbenfabriken Friedr. Bayer & Co., Leverkusen b. Köln, geschildert, „durch besondere Imprägnation die Wollstoffe dauernd „mottenfest“, „mottenecht“ zu machen“ und wie die jahrelangen Bemühungen des Chemikers (Dr. Meckbach) endlich im Ausfindigmachen eines Präparates — als Motteneulan im Handel — von Erfolg gekrönt waren. — Die Arbeit, welche hier vorliegt, ist in dem biologischen Laboratorium der Farbenfabriken vorm. Fr. Bayer, Leverkusen bei Köln, durchgeführt worden. Auf Grund der biologischen Feststellungen trat der Chemiker an das „Mottenproblem“ heran, und der mustergültigen Zusammenarbeit von Biologie und Chemie ist es zu danken, daß eine technisch einwandfreie Lösung gefunden wurde. So ist die vorliegende Abhandlung nicht nur durch ihre überreiche Fülle an biologischen neuen Tatsachen für den Biologen von grundlegender Bedeutung, sie ist auch für die Technik ein Muster, wie derartige Probleme in Angriff zu nehmen sind. — Ein ausführliches Literaturverzeichnis und ein sehr anschauliches Bildmaterial (z. T. nach photographischen Aufnahmen) erhöhen den Wert der Arbeit, die eine Fundgrube für angewandte entomologische, aber auch für allgemeine biologische Fragen ist.

Albrecht Hase, Berlin-Dahlem.

**Nüßlin, Otto, Forstinsektenkunde.** Dritte, neubearbeitete und vermehrte Auflage, herausgegeben von L. Rhumbler. Berlin, Paul Parey, 1922. XVI, 568 S., 457 Textabbildungen und 8 Bildnisse. Preis geb. M. 120,—.

Das bekannte Nüßlinsche Lehrbuch ist jetzt in dritter Auflage von Rhumbler neu herausgegeben und hat bei annähernd gleichem Umfang manche begrüßenswerten Neuerungen erfahren.

So ist vor allem neben der Anatomie des Insektenkörpers auch seine äußere Gliederung, die Morphologie, die man in den ersten beiden Auflagen vermißt, soweit behandelt, daß der Anfänger im Forstfach, der nach Spezialwerken bestimmen will, sich über die systematisch wichtigen Organe zu orientieren vermag. Auch sind diesem Abschnitt eine Anzahl guter, schematischer Zeichnungen — meist aus Escherich — beigegeben.

An Stelle der bisherigen, zwar sehr übersichtlichen und klaren, aber etwas umständlichen und raumverschwendenden Generationstabellen nach Judeich-Nitsche, in welchen für jeden Monat das entsprechende Zustandszeichen eingesetzt ist, hat der Herausgeber vielfach die von ihm vorgeschlagene prägnante Vitaformel (Bioformel) treten lassen. Diese Formel, die mittels eines — Zeichens dem Namen des betreffenden Insektes beigelegt wird, hat die Grundform eines viergliederigen Bruches. Die Zahlen bedeuten die Monate des Kalenderjahres (1 = Januar, 2 = Februar usw.); sie werden ohne Interpunktionszeichen nebeneinander gesetzt. Den Larvenmonaten ist ein — Zeichen, den Imagomonaten ein + Zeichen vorangestellt. Eizeit und Larvenzeit befinden sich über, Puppenzeit und Imagozeit unter dem Bruchstrich. Die Stelle, an welcher die Entwicklung von einem Kalenderjahr in das andere übergeht, wird durch ein , ausgedrückt, so daß die Zahl der Kommata in der Formel auf den ersten Blick die Einjährigkeit, Zweijährigkeit usw. der Generation erkennen läßt. Wo die Dauer des Eizustandes

mit der des entwickelten Insektes zusammenfällt, kommt die Monatszahl für den Eizustand in Wegfall; in solchem Falle beginnt also der „Zähler“ der Formel mit einem — Zeichen (d. h. eben mit der Larvenzeit). Als Beispiel, in welchem diese wichtigsten Elemente der Bioformel enthalten sind, sei die Formel für den Kiefernspinner angeführt:

78 — 8,6

67 + 7

Das heißt: Ei im Juli und August, Larve (— Zeichen) vom August bis zum Juni des folgenden Jahres (daher das Komma!), Puppe im Juni und Juli, das fertige Insekt (+ Zeichen) im Juli.

Bei ametabolen und hemimetabolen Insekten, welche kein Puppenstadium besitzen, fällt der Bruchstrich natürlich weg, die Formel steht sodann in einer Zeile.

Sehr zu begrüßen ist in dem Buch die Beibehaltung der alten, eingebürgerten Nomenklatur, insbesondere der alten Gattungsnamen, denen gegebenenfalls der neu eingeführte Name in Klammern beigelegt ist. Die Aufspaltung der Gattungen ist heute ja leider schon so weit gediehen, daß die meisten der forstlich in Betracht kommenden Spezies auch verschiedene Gattungsnamen führen und damit die gerade dem Praktiker so nützliche Zusammenfassung verwandter Arten in eine Gattung wieder aufgehoben wird. So sind die Nonne, der Schwammspinner, die beiden Goldafter und der Weidenspinner sich nahestehende Arten, deren Verschiedenheit im Speziesnamen ausgedrückt liegt. Warum soll hier das Gedächtnis des Forstmannes auch noch mit sechs Gattungsnamen (Liparis, Lymantria, Ocnaria, Euproctis, Porthesia, Stilpnotia) belastet werden, wo der alte und von Rhumbler mit Recht beibehaltene Name Liparis für sie alle weit bessere Dienste tut? Dies ein Beispiel für viele.

Die aus der alten Auflage übernommene Anordnung der wichtigsten Waldschädlinge nach ihren Futterpflanzen hat in der dem Text vorangehenden Inhaltsübersicht einen zweckmäßigen Ausdruck gefunden. Leider blieb durch ein Versehen in dieser Übersicht die Blattwespengattung Lophyrus (S. 484) unerwähnt.

Unter den Bekämpfungsmethoden wurde auch die biologische, die hauptsächlich in Amerika zur Ausbildung gelangt ist, in die neue Auflage aufgenommen.

Max Dingler, München.

**Oltmanns, Friedr., Morphologie und Biologie der Algen.**

2. Aufl. 1. Bd. Chrysophyceae, Chlorophyceae. Jena, G. Fischer, 1922. VI, 459 S. und 287 Fig. Preis geb. M. 100,—; geb. M. 130,—.

Oltmanns Algenbuch war vergriffen; aber nicht nur aus diesem Grunde war eine neue Auflage zu wünschen. Manches Neue war auf diesem Gebiete hinzugekommen. So, wie der Verfasser in der Vorrede hervorhebt, besonders über die niedersten Algen und die farbigen Flagellaten, dann durch die cytologische Forschung, durch Kulturversuche und durch neuere Arbeiten über die Verwandtschaftsverhältnisse. Das Werk ist jetzt in drei Bände zerlegt. Der erste behandelt „die Flagellaten im weitesten Sinne und das, was sich unmittelbar an sie anschließt, wie auch die grünen Algen“. Dieser liegt vorläufig allein vor. „Der zweite Band soll Phaeophyceen und Rodophyceen bringen, der dritte Band wird die allgemeinen Fragen behandeln.“ Auf ihn darf man besonders gespannt sein.

Bei den Flagellaten sind Paschers Arbeiten eingehend berücksichtigt; wenn der Verf. in ihrer Bewertung auch eine gewisse Zurückhaltung bewahrt, so erkennt man doch ihren Einfluß an vielen Stellen. Bei



den Conjugaten sind die drei Familien der Mesotaeniaceen, Desmidiaceen und Zygnemaceen klar gegenübergestellt. Die beiden letzteren werden von den Mesotaeniaceen abgeleitet, wobei der Typus von *Cylindrocystis* den Ausgangspunkt für die Kopulation bei den Zygnemaceen, der von *Spirotaenia* (der noch näher zu erforschen bleibt), den für die Desmidiaceen liefert. Bei den Bacillariaceen neigt der Verf. im Anschluß an *Karsten* dazu, die Pennatae weitgehend von den Centricae zu trennen. Hier wie auch anderswo legt der Verf. nicht ganz den Wert auf den Kernphasenwechsel, wie es wohl andere Forscher getan hätten. Wenn es auch verlockend gewesen wäre, diese Dinge in den Mittelpunkt der Erörterungen über Verwandtschaftsverhältnisse zu stellen und auf diese Weise ein festes Gerippe zu schaffen, so zeigt sich doch bei Berücksichtigung aller Verhältnisse der Morphologie, des Zellbaues und der Fortpflanzung, daß der Stelle im Entwicklungszyklus der Formen, an der die Reduktionsteilung eingeschaltet ist, keine so überragende Bedeutung zukommt, wie die Modeströmung glauben machen könnte. Und zudem fehlen noch vielfach die nötigen Unterlagen. Man wird also dem Verf. seine Zurückhaltung nach genauerem Studium des Buches als berechtigt zubilligen, aber die Hoffnung hegen, daß er im allgemeinen Teil auf diese Fragen zurückkommt.

Auch bei den Grünalgen ist manches Neue hinzugekommen; aber der Hauptinhalt ist geblieben. *Sphaeroplea* steht noch immer isoliert da. Sie zu den Siphonocladiales zu stellen, die überhaupt wenig einheitlich sind, ist nur ein Notbehelf. Noch mehr für sich stehen die Charales. Man muß dem Verf. Recht geben, daß er Zweifel hegte, ob er sie überhaupt in das Buch aufnehmen sollte, ihm gleichzeitig aber Dank wissen, daß es geschah; denn nirgends sonst finden wir die Ergebnisse der Originalarbeiten so zusammengestellt. Es bleibt nur, die Hoffnung auszusprechen, daß die anderen Bände bald folgen möchten, und daß sie in Hinsicht auf Druckfehler und Figurenhinweise etwas genauer durchgesehen werden möchten.

Wer aber schreibt uns ein ähnliches Buch über die Pilze?  
E. G. Pringsheim, Prag.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen. Sonderbare Wirkungen des Mödlinger Trinkwassers auf Salamanderlarven.

Als Ergänzung zu meinem Berichte (Naturwissenschaften 1922, 2. Heft, S. 46) möchte ich noch folgendes anfügen. Die vorjährigen Ergebnisse mit Mödlinger Leitungswasser und beigegebenem 3 mal je  $\frac{1}{4}$  g  $\text{CaCl}_2$  wurden heuer fast mathematisch genau (57, 58 Tage) bestätigt; bemerkt sei, daß Larven des Feuersalamanders (9. Mai natürlich geworfen, 30—31 mm lang) auch dreimal (11. und 25. Mai, 23. Juni) je  $\frac{1}{2}$  bzw. 1 g  $\text{CaCl}_2$  vertrugen, aber im wesentlichen gleich schnell wachsen und ans Land steigen wie die ersteren bei einer Größe von 5,7 cm. Auch in  $\frac{3}{4}$ -l-Gläsern, die dreimal in den angegebenen Zeitabständen mit je  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  und 1 g Kalium biphosphoricum (Lösung sehr schwach sauer) beschickt wurden, entwickelten sich die Larven in 60—61 Tagen bei gewöhnlicher Größe 5,7 cm. In einem  $\frac{3}{4}$  l-Glas, dem zweimal je  $\frac{1}{4}$  g  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (11. und 25. Mai) zugesetzt wurde, beendigte die Larve ihre Umwandlung in 68 Tagen, 5,8 cm groß. Stärkere ( $\frac{1}{2}$ , 1 g) Dosierungen töten die Larven längstens in 15 Tagen, obwohl sie während dieser Zeit 4 mm wachsen. Sonderbarerweise lebte eine 20 Tage alte und 35 mm lange Larve, die dann in einem  $\frac{3}{4}$  l-Glase,

dem ich 1 g festes  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (nach 2 Stunden gelöst) beifügte, sonst normal gehalten wurde, 24 Tage lang, wuchs trefflich (45 mm), starb aber darauf — wohl zufällig infolge direkter Sonnenbestrahlung. In einem 2 l-Glase, dem zum gewöhnlichen Leitungswasser am 11. Mai 1 g, am 25. Mai und 23. Juni je 2 g  $\text{MgSO}_4$  zugesetzt wurde, entwickelte sich eine Larve in 62 Tagen, 6 cm lang. Auch  $\text{MgCl}_2$  (dreimal je 1 cm<sup>3</sup>) vertrugen die Larven gut und steigen 6 cm lang nach 87 Tagen ans Land. Die voraus geschilderten Versuche wurden mit Larven desselben Wurfes angestellt; die Larven waren wie das Muttertier alle stark gefleckt. Anführen möchte ich noch, daß die mit den oben angeführten Salzen behandelten Larven durchwegs eine geringere Variationsbreite (einige Tage) in der Entwicklungszeit aufweisen als die bloß im Mödlinger Trinkwasser gezüchteten.

Wien, den 5. September 1922.

K. Hofmann.

## Stazione idrobiologica del Trasimeno.

Ich beehre mich, Ihnen die Eröffnung dieser Station mitzuteilen, die für das Studium des Trasimenischen Sees vom Standpunkte der hydrobiologischen Probleme im allgemeinen und der Süßwasserfischerei eingerichtet worden ist. Es ist dies heute die einzige limnologische permanente Station in Italien. Ich vertraue daher auf Ihre gütige Unterstützung, indem Sie diese Initiative ermuntern wollen, die eine große und oft bedauerte Lücke füllt in den Mitteln zu wissenschaftlicher Forschung, die unsern Biologen zur Verfügung stehen.

Die Lokale der hydrobiologischen Station des Trasimenosees sind zu diesem Zweck von der Universität Perugia zur Verfügung gestellt worden und hat mir deren Direktion anvertraut. Das Ackerbauministerium wird sich derselben auch teilweise bedienen für Einrichtung von Zuchtbassins usw.

Monte del Lago (Umbria), den 11. Juli 1922.

Dr. med. Oswald Polimanti,  
ord. Prof. der Physiologie  
an der Universität Perugia.

## Die Tagung der paläontologischen Gesellschaft in Tübingen vom 9.—13. August 1922.

Am 9. August eröffnete der derzeitige Präsident Prof. Dr. O. Abel (Wien) im Hörsaal des zoologischen Institutes der Universität Tübingen die diesjährige Tagung der paläontologischen Gesellschaft, deren zahlreiche Teilnehmer, die aus ganz Deutschland, aus Österreich, Schweden, Holland, der Tschechoslowakei und dem S. H. S.-Staate gekommen waren, vom Rector magnificus Prof. Dr. Rohr und von Prof. Dr. E. Henning namens der Tübinger Universität auf das herzlichste willkommen geheißen wurden.

In der Geschäftssitzung, in der u. a. die Absendung einer Ehrenadresse an den Nestor der schwäbischen Paläontologen Pfarrer Dr. h. c. Th. Engel in Eisingen beschlossen wurde, wurden die Neuwahlen vorgenommen und als Ort für die nächstjährige Tagung Wien bestimmt.

Als erster Redner sprach Prof. Dr. O. Abel (Wien) über „*Desmostylus*, einen miozänen Multituberkulaten aus der nordpazifischen Küstenregion“. Entgegen früheren Auffassungen, die in *Desmostylus* teils einen Verwandten der Proboscider, teils einen solchen der Sirenen erblickten, wies der Vortragende überzeugend nach, daß wir in *Desmostylus* eine Form vor uns haben,



die als ein Angehöriger der Monotremen bezeichnet werden muß. Die große Bedeutung dieser Feststellung ist darin gelegen, daß damit zum ersten Male ein fossiler Vertreter der Schnabeltiere bekannt wurde, der naturgemäß auf die Stammesentwicklung dieser eigenartigen Tiergruppe einiges Licht zu werfen geeignet ist.

Nach Prof. Abel ergriff Prof. Dr. E. Frhr. v. Stromer (München) das Wort zu einem Vortrage über *tertiäre Landwirbeltiere aus Deutsch-Südwestafrika*. Die eben genannte Fauna, die während des Krieges und nach dem Krieg von zwei deutschen Forschern, Prof. Dr. E. Kaiser und Dipl.-Ing. Dr. Beetz gesammelt worden war, lieferte bei ihrer Bearbeitung sehr interessante Ergebnisse, über die der Vortragende ausführlich berichtete.

Sodann folgten 3 Vorträge, die sich mit den Ausgrabungen in der Drachenhöhle bei Mixnitz (Steiermark), wo mächtige Phosphatlager zur Gewinnung von Kunstdünger abgebaut werden, beschäftigten. A. Bachofen-Echt (Wien) berichtete über *die Baue eiszeitlicher Marmeltiere (Arctomys primigenius Kaup)*, die in der Höhle aufgeschlossen wurden, und weiter über *die Abnutzungsspuren an den Eckzähnen des Höhlenbären*. Was die letzteren betrifft, so konnte der Vortragende an einer großen Zahl von Stücken wie von Abbildungen zeigen, daß diese Abnutzungsspuren auf zweierlei Ursachen zurückzuführen sind, teils auf die durch die sekundäre Verkürzung der Schnauze bedingte Schiefstellung der Eckzähne in den Kiefern, teils auf die Verwendung der genannten Zähne als Werkzeuge von Seiten des in der Höhle nachgewiesenen Eiszeitmenschen. — Den dritten Vortrag, der sich auf die Drachenhöhle von Mixnitz bezog, hielt Dr. K. Ehrenberg (Wien). Er berichtete über die Ergebnisse seiner *Untersuchungen der frühesten Entwicklungsstadien (Embryonen und Neugeborenen) des Mixnitzer Höhlenbären*, die in der Drachenhöhle in großer Zahl gefunden wurden, und suchte darzulegen, wie die Art des Vorkommens derselben eine Reihe von Aufschlüssen über Fragen der Fortpflanzung des Höhlenbären gewährt. — Im Anschluß an diese 3 Vorträge erläuterte Prof. Dr. O. Abel (Wien) die topographischen sowie die *Lagerungsverhältnisse der Drachenhöhle*.

Mit einem Vortrage von Dr. Killgus (Tübingen) über *pliozäne Säugetiere aus China* fand die Erörterung der Säugetiere ihren Abschluß.

Aus dem Reiche der Reptilien hatten Dr. F. Baron Nopcsa (Wien) und Prof. Dr. Frhr. v. Huene (Tübingen) ihre Themen gewählt. Baron Nopcsa sprach über *eine Schlange aus den Kreideschichten von Bosnien*. Die teilweise pachyostotische Veränderung des Skelettes dieser Schlange bot dem Vortragenden Gelegenheit, auf die Erscheinung der Pachyostose, die ja von verschiedenen sekundär zum Wasserleben übergegangenen Wirbeltieren bekannt ist, ausführlich einzugehen. Die ganz neuartige Deutung, die der Vortragende der Pachyostose gab, wobei er auf den Zusammenhang mit innersekretorischen Prozessen hinwies, eröffnete den Ausblick auf ein bisher noch fast gänzlich unbeackertes Teilgebiet unserer Wissenschaft und zeigte einen Weg, auf dem vielleicht noch manche bisher ungelöste Frage ihre Erklärung finden wird. Das ganz besondere Interesse, das unter diesen Umständen die Ausführungen Baron Nopcsas hervorrufen mußten, kam auch in der anschließenden Diskussion zum Ausdruck, in deren Verlaufe sich nicht weniger als 20 Redner zum Worte meldeten. — Nach Baron

Nopcsa sprach Prof. Dr. Frhr. v. Huene über *die Stammesentwicklung der Ichthyosaurier*, die durch die Untersuchungen des Vortragenden eine wesentliche Klärung erfährt.

Neben den Wirbeltieren waren es die verschiedenen Stämme der wirbellosen Tiere, die den Gegenstand einer Reihe von Vorträgen bildeten. So erörterte Prof. Dr. J. Versluys (Hilversum) *die stammesgeschichtlichen Beziehungen der Gigantostroken* und zeigte, daß diese vorweltlichen Tiere aus der Verwandtschaft der Spinnen entgegen den bisherigen Anschauungen offenbar von terrestrischen Tieren, und zwar skorpionenartigen Formen hergeleitet werden müssen. — Hofrat Prof. Dr. Gorjanovic-Kramberger (Agram) zeigte den *Ablauf der phylogenetischen Entwicklung innerhalb der Gastropodengattung Valenciennesia*, während Geheimrat Prof. Dr. O. Jaekel (Greifswald) einige der wichtigsten Ergebnisse seiner Untersuchungen über *die Phylogenie der Asterozoen* mitteilte. — Ganz besonderem Interesse begegneten auch die Ausführungen von Prof. Dr. F. Klinghardt (Greifswald), der über seine *Methode anatomischer Analyse bei Muscheln* sprach, die es ihm ermöglicht hatte, bei einer Reihe fossiler Muscheln über die kleinsten anatomischen Details Aufschluß zu erhalten, eine Methode, deren Anwendung bei anderen fossilen Evertibraten wohl geeignet erscheint, unsere Kenntnisse über deren Anatomie wesentlich zu erweitern. Damit scheint aber auch ein Weg gewiesen, wie wir in Zukunft zu einer wesentlichen Klärung der Verwandtschaftsverhältnisse innerhalb der einzelnen Stämme der Evertibraten gelangen können.

Zwei weitere Vorträge endlich behandelten allgemeinere Fragen. Prof. Dr. C. Wiman (Upsala) lieferte mit seinem Vortrag über *„die Entwicklung der Paläontologie in Schweden“* einen wertvollen Beitrag zur Geschichte unserer Wissenschaft, während Prof. Dr. F. Weidenreich (Mannheim) das Thema *„Die Typen- und Artlehre der Vererbungswissenschaft und die Morphologie“* gewählt hatte. In überaus klarer und fesselnder Weise zeigte der Vortragende, wie jede Form irgendeines Organes durch seine Funktion bedingt ist, wie jedes vererbte Merkmal einmal funktionell erworben sein muß und wie jene gerade gegenwärtig wieder so scharf betonte Unterscheidung zwischen „Genotypus“ und „Phänotypus“, zwischen vererbten und nicht vererbten Merkmalen keineswegs berechtigt erscheint. Besonders deutlich ging dies aus dem vom Vortragenden angeführten Beispiel des menschlichen Fersenbeines (Calcaneus) hervor, das in Fällen, wo das betreffende Individuum niemals im Leben gegangen war, in seiner Gestalt nahezu die Verhältnisse eines Gorilla-Calcaneus zeigte. Auch diesem Vortrag folgte eine sehr angeregte Diskussion, die ergab, daß die Versammlung zumindest in ihrer überwiegenden Mehrheit den Standpunkt des Vortragenden bezüglich des Phäno- und Genotypus usw. zu teilen schien, ebenso wie auch die Diskussionsbemerkung von Prof. Dr. O. Abel (Wien), daß die Ausführungen des Vortragenden wieder einmal deutlich zeigten, wie sehr die Paläontologie in Fragen der Vererbungsforschung mitzureden habe, allgemeinste Zustimmung fand.

Während die Vormittage den Vorträgen galten, wurden nachmittags stets Exkursionen in die an paläontologischen Funden so reiche Umgebung Tübingens unternommen, die wieder Anlaß zu einer Reihe von Diskussionen gaben. K. Ehrenberg, Wien.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W9.

Heft 43. (Seite 927—950)

27. Oktober 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Otolithenfunktion und Körperstellung. Von *R. Magnus, Utrecht*. S. 927.

Über die von der Deutschen Atomgewichtskommission herausgegebene Tabelle der „Chemischen Elemente und Atomarten“. Von *Otto Hahn, Berlin-Dahlem*. S. 934.

Die Palimpsestphotographie. Von *G. R. Kögel, Karlsruhe*. (Mit 2 Abbildungen). S. 940.

### Besprechungen:

Chwolson, O. D., Lehrbuch der Physik. Zweite Auflage. Von *A. Sonnefeld, Jena*. S. 943.

Mie, Gustav, Die Einsteinsche Gravitationstheorie. Von *Friedrich Kottler, Wien*. S. 945.

Einstein, A., Vier Vorlesungen über Relativitätstheorie. Von *M. Born, Göttingen*. S. 946.

Bauer, Hans, Mathematische Einführung in die

Gravitationstheorie Einsteins. Von *A. Kopff, Heidelberg*. S. 946.

Lorentz, H. A., A. Einstein, H. Minkowski, Das Relativitätsprinzip. Von *A. Kopff, Heidelberg*. S. 947.

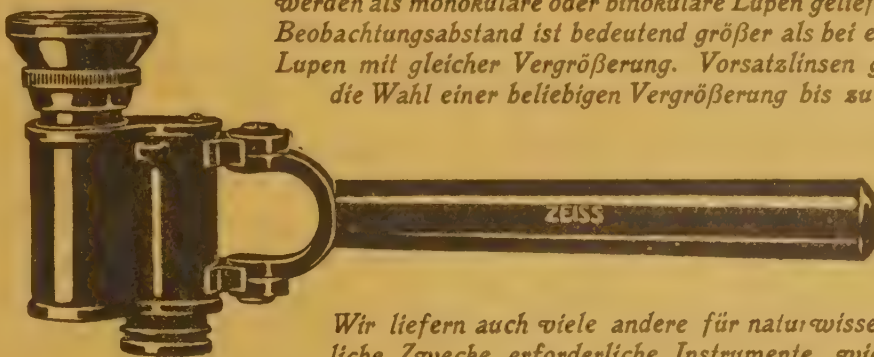
### Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Zur Frage des Wasserstoffmolekül-Modells. Von *A. Eucken, Breslau*. S. 947.

### Botanische Mitteilungen. S. 948—950.

Die Biochemie und Physiologie der Grenzschichten lebender Zellen. Phototropische Reizleitungsvorgänge bei Unterbrechung des organischen Zusammenhangs. Zum Wärmephänomen der Araceenblütenstände. Über Pollenkörner mit vermehrter Kernzahl. Serodiagnostische Untersuchungen über die Verwandtschaften innerhalb des Centrospermenastes des Pflanzenreichs.

## ZEISS Fernrohr-Lupen



werden als monokulare oder binokulare Lupen geliefert. Der Beobachtungsabstand ist bedeutend größer als bei einfachen Lupen mit gleicher Vergrößerung. Vorsatzlinsen gestatten die Wahl einer beliebigen Vergrößerung bis zu 30fach.

Wir liefern auch viele andere für naturwissenschaftliche Zwecke erforderliche Instrumente, wie Mikroskope, Einschlaglupen usw.

Druckschriften und  
Auskunft durch:

**CARL ZEISS, JENA**

## Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 250.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 25.—.

Sollte die im Druck- und Papiergewerbe auch weiterhin fortschreitende Teuerung, deren Ende heute noch nicht abzusehen ist, eine abermalige Erhöhung des Bezugspreises innerhalb des 4. Quartals 1922 notwendig machen, so muß sich der Verlag schon heute eine entsprechende Nachberechnung vorbehalten.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 86.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

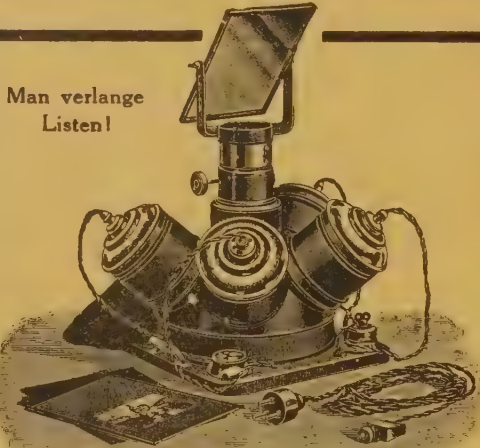
Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
5 10 20 80% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.

Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck: für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 2020 Julius Springer,  
Konten für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 21893 Julius Springer.

Man verlange  
Listen!



## Projektions-Apparate Liesegang

HochKerziges

# Globoscop

entwirft scharfe, helle Lichtbilder nach jedem Papierbild. An jede elektrische Lichtleitung anzuschließen.

Neue große Lichtbilder-Sammlung

aus allen Gebieten

für Lehr- und Vortragszwecke!

Ed. Liesegang, Düsseldorf  
Brieffach 124

Die Anschaffung des (297)

## Handwörterbuchs der Naturwissenschaften



10 Bände in Halbleder Tagespreis, erleichtert durch Zahlung in bequemen Monatsraten. Das Werk wird sofort vollständig geliefert.

H. Meusser, Buchhandlung  
Berlin W 57/9, Potsdamer Straße 75.

## Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu kaufen gesucht. Angebote unter  
Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

## Monographien aus dem Gesamtgebiet der Physiologie der Pflanzen und der Tiere

Herausgegeben von

F. Czapek, M. Gildemeister, E. Godlewski jun., C. Neuberg, J. Parnas.

Redigiert von J. Parnas.

Erster Band: **Die Wasserstoffionen-Konzentration.** Ihre Bedeutung für die Biologie und die Methoden ihrer Messung. Von Dr. **Leonor Michaelis**, a. o. Professor an der Universität Berlin. Zweite, völlig umgearbeitete Auflage. In 3 Teilen. Erster Teil: **Die theoretischen Grundlagen.** Mit 32 Textabbildungen. 1922. G. Z. 8.8, geb. G. Z. 11.3.

Zweiter Band: **Die Narkose in ihrer Bedeutung für die allgemeine Physiologie.** Von **Hans Winterstein**, Professor der Physiol. und Direktor des Physiol. Instituts der Universität Rostock i. M. Mit 7 Textabbildungen. 1919. G. Z. 10.

Dritter Band: **Die biogenen Amine und ihre Bedeutung für die Physiologie und Pathologie des pflanzlichen und tierischen Stoffwechsels.** Von Dr. **M. Guggenheim.** 1920. G. Z. 12.

Die eingesetzten Grundzahlen (G.Z.) entsprechen dem ungefähren Goldmarkwert und ergeben mit dem Umrechnungsschlüssel (Entwertungsfaktor) zur Zeit: 110, vervielfacht den Verkaufspreis.



## Otolithenfunktion und Körperstellung<sup>1)</sup>.

Von R. Magnus, Utrecht.

Beim Studium der Tätigkeit des Vestibularapparates können wir nicht wie bei dem Studium der Tätigkeit von Auge und Ohr von der Analyse unserer subjektiven Empfindungen ausgehen, weil wir allerdings *meist* eine richtige Vorstellung von unserer Körperhaltung und unserer Lage im Raume haben, aber nicht unmittelbar wissen, welches die Quelle dieser Empfindungen ist. Außer dem Vestibularapparat spielen die anderen statischen Rezeptionsorgane (Muskel-, Gelenk- und Drucksinn) eine wichtige Rolle und wir können diese nicht ohne weiteres in unserem Bewußtsein auseinanderhalten. Wir sind also angewiesen auf das Studium der vom Vestibularapparat ausgelösten *objektiven Reflexe*. Allerdings nahm man früher an, daß die bei Versuchstieren nach Vestibularisierungsregungen beobachteten Reaktionsbewegungen ausgeführt werden, um die dabei ausgelösten *subjektiven Schwindelempfindungen* zu kompensieren. Hiervon kann man aber vollständig absehen, denn *alle* vom Vestibularapparat auslösbaren objektiven Reaktionen sind nach einem Querschnitt durch den Hirnstamm *vor* dem Mittelhirn vorhanden. Also spielen (bewußte) Rindenkompensationen keine Rolle. Es handelt sich um objektive Vestibularisreflexe. Da außerdem *alle* Vestibularisreflexe nach vollständiger anatomisch kontrollierter Kleinhirnexstirpation erhalten sind, folgt, daß der Zentralapparat für die Vestibularisreflexe (und ebenso für die meisten anderen statischen Reflexe) im *Hirnstamm*, und zwar vom oberen Halsmark bis zum Mittelhirn liegt.

Kennzeichen eines Vestibularisreflexes ist, daß er nach doppelseitiger Labyrinthexstirpation *fehlt*. Da aber nach Labyrinthexstirpation Haltung, Lage und Gleichgewicht nur wenig gestört zu sein brauchen, folgt, daß noch *andere* Reflexe zum gleichen Ziele mitwirken. Die Labyrinth sind stets nur *eines* der statischen Organe, das in den meisten Fällen durch die anderen Rezeptoren sehr wirksam unterstützt wird.

Das Vestibularorgan gliedert sich in den Bogengangs- und den Otolithenapparat. Der Bogengangsapparat (*Crista* und *Cupula*) reagiert auf *Bewegungen* oder, richtiger gesagt, auf *Beschleunigungen*, und zwar sowohl auf Drehbewegungen (Winkelbeschleunigungen) als auch auf

Progressivbewegungen (geradlinige Beschleunigungen). Der Otolithenapparat reagiert im Gegensatz hierzu auf *Lage*. Sein Erregungszustand wechselt, je nachdem die Otolithenmaculae eine verschiedene Dauerlage zur Horizontalebene einnehmen. Es werden von hier aus also tonische Reflexe, Dauerreaktionen ausgelöst. (Hiermit ist natürlich durchaus nicht ausgeschlossen, daß der Otolithenapparat *auch* auf Bewegungen reagiert, jedoch besitzen wir bisher kein Verfahren, um diesen Erregungsvorgang an den Otolithenmaculae isoliert zu prüfen.)

Die soeben gegebene Funktionstrennung zwischen Bogengangs- und Otolithenapparat ist möglich geworden durch die Anwendung eines zuerst von *Wittmaack* beschriebenen Verfahrens. Zentrifugiert man Meerschweinchen mit großer Geschwindigkeit, so findet man überraschenderweise danach den Bogengangsapparat samt *Crista* und *Cupula* anatomisch intakt, während die Otolithen von ihrer Unterlage abgeschleudert werden. Natürlich ist erforderlich, daß in jedem einzelnen Versuche die Vollständigkeit der Abschleudering anatomisch kontrolliert wird. Bei derartigen Tieren findet man nun schon direkt nach dem Zentrifugieren alle Reflexe auf Bewegungen, und zwar sowohl auf Dreh- wie auf Progressivbewegungen unverändert erhalten; während bei Tieren mit vollständiger Abschleudering der Otolithenmembranen alle Lagereflexe dauernd geschwunden sind. Es soll im folgenden auf die Physiologie des Bogengangsapparates nicht weiter eingegangen und nur die Tätigkeit der Otolithenmaculae sowie die übrigen Reflexe, welche mit dem Otolithenapparate für Körperstellung und Haltung zusammenwirken, genauer beschrieben werden.

*Otolithenreflexe* sind also solche, welche sowohl nach doppelseitiger Labyrinthexstirpation wie nach Abschleudern der Otolithenmembranen fehlen. Die erste Gruppe von Reflexen, an welchen die Otolithen mitwirken, kann als *Haltungsreflexe* bezeichnet werden. Diese lassen sich am besten am dezerebrierten Tiere studieren, bei welchem der Hirnstamm in der Ebene des Tentorium cerebelli durchtrennt wird. Der Schnitt fällt quer durch das Mittelhirn oder auch durch den vorderen Teil der Medulla oblongata. Derartige Tiere zeigen nach den Feststellungen von *Sherrington* die sogenannte Enthirnungsstarre, in welcher die „Stehmuskulatur“ sich in einem Zustand von übertriebenem Tonus befindet. Es sind dieses die Streckmuskeln der Gliedmaßen, die Heber des Nackens, die Strecker des Rumpfes,

<sup>1)</sup> Referatvortrag auf der Leipziger Naturforscherversammlung 1922, gehalten in der gemeinsamen Sitzung der Abteilungen für Anatomie und Physiologie, Otologie, Neurologie und Augenheilkunde.

die Heber des Schwanzes usw. Ihre Antagonisten, die Beugemuskeln, sind entweder vollständig erschlafft oder besitzen jedenfalls nur einen sehr geringen Grad von Tonus. Stellt man ein derartiges Tier auf seine vier Beine, so bleibt es stehen; gibt man ihm einen Stoß, so fällt es um und bleibt liegen.

Es hat sich nun herausgestellt, daß man bei derartigen Tieren die Gesamthaltung des Körpers, mit anderen Worten die Spannungsverteilung in der Stehmuskulatur nach Willkür, aber gesetzmäßig dadurch beherrschen kann, daß man dem Kopf eine bestimmte Stellung gibt. Die nähere Analyse ergab, daß es sich hierbei um das Zusammenwirken von zwei Reflexgruppen handelt. Die eine wird ausgelöst dadurch, daß der Kopf eine bestimmte Stellung *im Raume*, d. h. zur Horizontalebene einnimmt: dieses sind Otolithenreflexe; die zweite dadurch, daß der Kopf eine bestimmte Stellung *zum Rumpfe* einnimmt: dieses sind Halsreflexe. Im folgenden sollen zunächst die Haltungsreflexe auf die Extremitätenmuskulatur besprochen werden.

Wenn man die *tonischen Labyrinthreflexe* (Otolithenreflexe) auf die Gliedermuskeln isoliert untersuchen will, so muß man die tonischen Halsreflexe ausschalten, entweder dadurch, daß man die sensiblen Hinterwurzeln im Halsmark durchschneidet, oder dadurch, daß man Kopf, Hals und Brustkorb unbeweglich gegeneinander eingipst, so daß nur die Vorderbeine frei aus dem Gipsverband herausragen. Bringt man nun ein derartiges Tier in verschiedene Lagen im Raume, so zeigt sich, daß der Spannungszustand der Streckmuskeln an den Extremitäten wechselt. Und zwar gibt es eine und *nur* eine Lage des Kopfes im Raume, bei welcher die Streckmuskeln das Maximum ihres Tonus besitzen. Es findet dieses bei Rückenlage des Kopfes mit etwas über die Horizontale gehobener Mundspalte statt. Im Gegensatz dazu besitzen die Streckmuskeln der Glieder das Minimum ihres Tonus in der um  $180^\circ$  davon verschiedenen Kopfstellung (Normalstellung des Kopfes mit etwas unter die Horizontale gesenkter Mundspalte). Bei allen anderen Lagen des Kopfes im Raume nehmen die Streckmuskeln der Glieder Tonusgrade an, welche zwischen diesen beiden Extremen liegen. Die Beugemuskeln verhalten sich umgekehrt; wenn die Streckmuskeln maximal gespannt sind, sind die Beugemuskeln schlaff, erschlaffen die Streckmuskeln, so zeigen die Beuger ein wenn auch absolut geringes Maximum ihres Tonus.

Zur Erörterung der Frage, von welchen Otolithen diese Reflexe ausgelöst werden, geht man zweckmäßig von den Verhältnissen nach einseitiger Labyrinthexstirpation aus. Nimmt man beispielsweise das rechte Labyrinth fort, so bleiben die geschilderten Reflexe sowohl an den Gliedmaßen der rechten als der linken Körperseite unvermindert fortbestehen und die Lage

des Maximums und Minimums für diese Reflexe ändert sich nicht. Man kann hieraus schließen, daß die Otolithenmaculae, von welchen diese Reflexe ausgehen, nahezu in derselben Ebene liegen müssen. Dieses trifft für die Utriculusotolithen zu. Bei der Maximumstellung für den geschilderten Haltungsreflex stehen nun die Utriculusotolithen horizontal und der Otolith *hängt* an der Macula. In der Minimumstellung stehen die Utriculusotolithen horizontal und der Otolith *drückt* auf die Macula. Wir kommen also hier schon zu dem Wahrscheinlichkeitsschlusse, daß das Maximum der Erregung in der Macula vorhanden ist, wenn der Otolith an ihr zieht, und das Minimum, wenn er drückt. Absolut beweisend ist diese Schlußfolgerung nicht, denn wenn man nicht das Verhalten der Streck-, sondern das der Beugemuskulatur berücksichtigt, würde man den umgekehrten Erregungsmechanismus annehmen müssen. Da aber diese Haltungsreflexe sich im wesentlichen an der *Stehmuskulatur* abspielen und die Beugemuskulatur sich beim dezerebrierten Tier nur in untergeordnetem Grade beteiligen, gewinnt dieser Schluß einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit. Es wird weiter unten zu zeigen sein, daß der hier beschriebene Erregungsmechanismus sich für die Sacculusotolithen mit aller Schärfe *beweisen* läßt.

Bei den tonischen Otolithenreflexen reagieren die vier Extremitäten stets gleichsinnig.

Zur Untersuchung der *tonischen Halsreflexe* auf die Gliedermuskulatur müssen die Labyrinthreflexe ausgeschaltet werden. Es geschieht dieses durch doppelseitige Labyrinthexstirpation. Ändert man an so operierten Tieren die Stellung des Kopfes zum Rumpfe, so treten ebenfalls Tonusänderungen der Extremitäten auf, bei welchen immer ein Extremitätenpaar *gegensinnig* zum anderen reagiert: Beugen bewirkt Erschlaffung der Vorder- und Streckung der Hinterbeine, Kopfeheben Streckung der Vorder- und Erschlaffung der Hinterbeine; Drehen und Wenden des Kopfes bewirkt Tonuszunahme in den Extremitäten der einen und Tonusabnahme in denen der anderen Körperseite.

Hat man nun Tiere, bei denen sowohl die Otolithen- wie die Halsreflexe erhalten sind, so kombinieren sich diese beiden in ihrer Wirkung auf die Extremitätenmuskulatur, und zwar in der Weise, daß der Erfolg für jede Muskelgruppe die algebraische Summe der durch beide Reflexe bedingten Erregungen darstellt. Wird also z. B. die Streckmuskulatur eines Vorderbeines sowohl vom Hals wie von den Otolithen aus tonisiert, so erfolgt eine starke Streckung. Wirken sich dagegen die Hals- und Labyrinthreflexe entgegen, so tritt unter Umständen überhaupt keine Tonusänderung der betreffenden Gliedmaßen ein.

Es ist nun klar, daß ein und dieselbe Kopfbewegung je nach der Körperlage des Tieres ganz verschiedenen Erfolg haben muß. Dreht man



z. B. den Kopf nach rechts<sup>2)</sup>), so erfolgt infolge der Halsreflexe Streckung der linken und Erschlaffung der rechten Extremitäten. Wird diese Kopfbewegung bei rechter Seitenlage des Tieres ausgeführt, so gelangt dabei der Kopf in die Maximumstellung für die Otolithenreflexe, wird sie dagegen bei linker Seitenlage ausgeführt, so gelangt der Kopf in die Minimumstellung für die Labyrinthreflexe. Der Endeffekt muß also in beiden Fällen ein ganz verschiedener sein. In derselben Weise läßt sich zeigen, daß die verschiedenen Kopfbewegungen bei allen möglichen Lagen des Körpers im Raume ganz verschiedene Haltungen auslösen müssen. Es ist aber möglich gewesen, sämtliche im Experiment zu beobachtende Körperhaltungen restlos zurückzuführen auf die Summe der durch die tonischen Otolithen- und Halsreflexe ausgelösten Reaktionen. Diese Reflexe sind tonisch, sie bleiben solange bestehen, als der Kopf seine betreffende Lage zum Raume und zum Körper beibehält. Sie dauern nicht nur Minuten und Stunden, sondern Tage, Wochen und Monate unvermindert an, wie sich das besonders für die nach einseitiger Labyrinthexstirpation infolge der Kopfdrehung auftretenden Halsreflexe hat nachweisen lassen. Es handelt sich also um Reflexe, welche als *vollständig unermüdbar* bezeichnet werden können.

Nicht nur die Extremitätenmuskulatur steht unter dem Einfluß der Otolithen, es gibt auch *tonische Labyrinthreflexe auf die Halsmuskulatur*. Die Gesetze hierfür sind ungefähr die gleichen wie die für die Reflexe auf die Extremitäten. Auch hier handelt es sich um Utriculusreflexe. Die Lage der Maxima und Minima ist die gleiche. Nur ein Unterschied besteht: während jede Utriculusmacula mit den Extremitätenmuskeln auf *beiden* Körperseiten in funktionellem Zusammenhange steht, ist der Einfluß einer Utriculusmacula auf die Halsmuskulatur ein *einseitiger*. Infolgedessen tritt nach Fortnahme eines Labyrinthes die bekannte Kopfdrehung auf, welche durch den Einfluß der übrigbleibenden Utriculusmacula auf die Halsmuskulatur einer Körperseite verursacht wird und im nachfolgenden als „Grunddrehung“ bezeichnet werden soll. Bei Kaninchen und Katzen erstreckt sich der Einfluß dieser tonischen Utriculusreflexe auch auf die Rumpfmuskulatur.

Die Zentren für die Haltungsreflexe liegen ziemlich weit kaudalwärts. Die für die tonischen Otolithenreflexe liegen im hinteren Teil der Medulla oblongata hinter der Eintrittsebene der Nn. Octavi, die für die tonischen Halsreflexe in den obersten beiden Zervikalsegmenten. Die beschriebenen Haltungsreflexe lassen sich nicht nur beim dezerebrierten Tier, sondern auch bei erhaltenem Großhirn nachweisen. Wenigstens gilt dies für Kaninchen, Katze und Hund und für die meisten Tiere, die

man auf der Straße und im Zoologischen Garten beobachten kann. Man sieht bei ihnen denselben Zusammenhang zwischen Kopfstellung und Körperhaltung, welche man am dezerebrierten Tiere auf das Zusammenwirken der Hals- und Labyrinthreflexe zurückführen kann. Nur beim Affen mit seinen lebhaften Willkürbewegungen und seinem hochentwickelten Zentralnervensystem sind bei erhaltener Großhirntätigkeit diese Haltungsreflexe nicht direkt zu sehen, sie treten erst nach dem Dezerebrieren oder in bestimmten Stadien der Narkose zutage. Auch für den Menschen gilt dasselbe: die tonischen Hals- und Labyrinthreflexe lassen sich erst bei bestimmten Erkrankungen des Gehirns, welche in ihrem Enderfolg mit dem Dezerebrieren verglichen werden können, nachweisen.

Eine zweite Gruppe von tonischen Reflexen, an deren Zustandekommen sich die Otolithen beteiligen, sind die *kompensatorischen Augenstellungen*. Diese dürfen nicht verwechselt werden mit den bekannten Drehreaktionen der Augen, welche auf Winkelbeschleunigungen auftreten, und mit den kalorischen Reaktionen, welche so vielfach zu diagnostischen Zwecken ausgelöst werden. Beide sind Bogengangsreaktionen und von vorübergehender Art. Im Gegensatz hierzu sind die kompensatorischen Augenstellungen Dauerreaktionen, welche so lange anhalten, als der Kopf eine bestimmte Lage beibehält. Sie sind bei allen untersuchten Säugetierarten und beim Menschen vorhanden, sind aber bei Tieren mit frontal stehenden Augen und beim Menschen nur schwach ausgebildet. Bei diesen decken sich die Gesichtsfelder zum größten Teil, und die zueinander passende Einstellung beider Augen wird hauptsächlich auf optischem Wege kontrolliert. Bei Tieren mit seitlich stehenden Augen, wie beim Kaninchen und Meerschweinchen, bei welchen sich die Gesichtsfelder nur zum kleinen Teile decken, ist dieses jedoch nicht möglich, und es muß auf andere Weise dafür gesorgt werden, daß bei den verschiedenen Kopfstellungen die Lage des rechten und des linken Auges stets passend zueinander und auch in der richtigen Weise gegen den Raum orientiert wird. Hierzu dienen die zu den kompensatorischen Augenstellungen führenden Reflexe, welche daher im nachfolgenden ausschließlich für Kaninchen und Meerschweinchen geschildert werden sollen. Auch hierbei handelt es sich um das Zusammenwirken von Otolithen- und Halsreflexen.

Zur Untersuchung der *tonischen Labyrinthreflexe auf die Augen* muß man die Halsreflexe ausschalten, d. h. Änderungen der Stellung des Kopfes gegen den Körper vermeiden. Es wird ein geeignetes Kreuz auf der Hornhaut angebracht, ein quadratischer Rahmen unbeweglich zum Kopfe fixiert, das ganze Tier auf einem drehbaren Brette aufgespannt, auf welchem sich gleichzeitig der photographische Apparat befin-

<sup>2)</sup> D. h. rechtes Ohr ventralwärts.

det, und nun die bei allen möglichen Lagen des Kopfes und Körpers im Raume eintretenden kompensatorischen Augenstellungen photographiert und nachher ausgemessen. Stellt man nun an einem Modell des Augapfels mit den Augenmuskeln die zu jeder Kopfstellung im Raume gehörigen Augenstellungen ein, so kann man die hierbei eintretenden Längenänderungen sämtlicher Augenmuskeln genau ausmessen und daher die Abhängigkeit jedes einzelnen Augenmuskels von den Labyrinthen in den verschiedenen Lagen des Kopfes im Raume messend verfolgen. Hierbei ergibt sich, daß von den Otolithen aus die seitlichen Augenmuskeln (*Rectus externus* und *internus*) nicht in gesetzmäßiger Weise beeinflußt werden. Es steht dieses im Gegensatz zu den Bogengangsreaktionen, an welchen sich der äußere und innere gerade Augenmuskel bekanntlich sehr stark beteiligen. Sowohl bei der Drehreaktion als bei der kalorischen Prüfung spielen ja horizontale Deviation und Nystagmus eine große Rolle.

Bei den labyrinthären kompensatorischen Augenstellungen handelt es sich nur um die Kombination von *Vertikalabweichungen* und *Raddrehungen*. An den ersteren beteiligen sich *Rectus superior* und *inferior*, an den letzteren *Obliquus superior* und *inferior*. Beim Studium der *Vertikalabweichungen* hat sich folgendes ergeben: Bei Normalstellung des Kopfes stehen die Augen in Mittelstellung. Das Maximum der Vertikalabweichung an beiden Augen ist vorhanden ungefähr bei Seitenlage des Kopfes. Bei allen übrigen Lagen des Kopfes im Raume sind die Vertikalabweichungen geringer. Bei der Erörterung der Frage, von welchen Otolithen die Vertikalabweichungen ausgelöst werden, gehen wir wieder von den Verhältnissen nach einseitiger Labyrinthexstirpation aus. Hiernach kommt es zu der bekannten Augendeviation: beispielsweise wird nach rechtsseitiger Labyrinthexstirpation das rechte Auge nach unten, das linke nach oben abgelenkt. Diese Augenablenkung verschwindet bzw. wird minimal, wenn der Kopf sich ungefähr in rechter Seitenlage befindet. Nach einseitiger Labyrinthexstirpation verschiebt sich also die Nullstellung, bei welcher keine Vertikalabweichung vorhanden ist, um nahezu 90°. Hieraus muß man schließen, daß die auslösenden Otolithen nicht in einer Ebene liegen; es kann sich also nur um die Sacculusotolithen handeln. Tatsächlich steht nach einseitiger Labyrinthexstirpation bei derjenigen Seitenlage des Kopfes, bei welcher die Augendeviation minimal ist, der Sacculusotolith horizontal und drückt auf die Macula, während umgekehrt bei derjenigen Seitenlage, in welcher die Augenabweichung maximal ist, der Sacculusotolith horizontal steht und an der Macula hängt. In diesem Falle läßt sich also mit aller Schärfe beweisen, daß das Maximum der Erregung bei hängenden und das Maximum bei drückenden Otolithen vorhanden

ist. Sind beide Sacculusotolithen intakt und steht der Kopf in Normalstellung, so halten sich die von den beiden Sacculusmaculae ausgehenden Erregungen gerade das Gleichgewicht, und beide Augen stehen in Mittelstellung. Wird der Kopf zur Seite gedreht, so bekommt der nach unten stehende Sacculus das Übergewicht und bewirkt Vertikalabweichung. Die nähere Analyse hat ergeben, daß jede Sacculusmacula mit dem *Rectus superior* der gleichen und dem *Rectus inferior* der gekreuzten Seite in funktioneller Verbindung steht.

Ganz anders liegen die Verhältnisse für die *Raddrehungen*. Während bei den Vertikalabweichungen das rechte und das linke Auge sich stets gegensinnig bewegen, führen beide Augen stets gleichgerichtete Raddrehungen aus. Die Raddrehungen haben ihr Maximum nach der einen Richtung, wenn der Kopf mit der Schnauze ungefähr vertikal nach unten, ihr Maximum nach der anderen Richtung, wenn er nahezu vertikal mit der Schnauze nach oben gerichtet ist. Nach Fortnahme eines Labyrinthes ändert sich die Lage der Maxima und Minima nicht wesentlich, die Raddrehungen bleiben an beiden Augen bestehen, sind aber nur etwa von halber Größe, als wenn beide Labyrinthe intakt sind. Hieraus muß man schließen, daß die Otolithenmaculae, welche diese Reflexe auslösen, nahezu in eine Ebene fallen müssen. Man wird daher zunächst an die Utriculusotolithen denken. Diese können es aber nicht sein, denn sie stehen bei vertikal nach aufwärts oder abwärts gerichtetem Kopfe nicht horizontal, und außerdem hat die nähere Analyse des Verhaltens der Raddrehungen bei den verschiedenen Kopfstellungen ergeben, daß es sich unmöglich um Utriculusreflexe handeln kann. Auch von den Sacculi können die Reflexe nicht ausgelöst werden. - Aus dieser Schwierigkeit wird uns vielleicht eine Hypothese helfen: die Sacculusmaculae sind nämlich kein einheitliches Gebilde, an ihrem Vorderrande sind sie in der Weise umgebogen, daß sich diese Sacculusecken oder Dorsallappen (*de Burlet*) einer gemeinschaftlichen Frontalebene nähern. Diese Dorsallappen besitzen nach den Untersuchungen von *Voit*, *Oort* u. a. eine besondere Innervation. Sie werden nicht vom *Ramus saccularis*, sondern vom *Ramus utricularis* versorgt. Auch dieses spricht für eine funktionelle Sonderstellung. Man wird daher vorläufig die Hypothese machen können, daß die Raddrehungen von den Dorsallappen ausgelöst werden. Bei vertikaler Kopfstellung stehen diese, wenn auch nicht ganz, so doch angenähert horizontal. Natürlich muß diese Hypothese noch durch weitere vergleichend anatomisch-physiologische Untersuchungen gestützt werden und ist keinesfalls als bereits bewiesen anzusehen.

Bei den verschiedenen Lagen des Kopfes im Raume kombinieren sich nun Vertikalabweichungen und Raddrehungen so, daß tatsächlich die



beobachteten kompensatorischen Augenstellungen zustande kommen.

Die *tonischen Halsreflexe auf die Augen* sind zuerst von *Bárány* gesehen und von *de Kleyn* in allen Einzelheiten aufgeklärt worden. Zu ihrem Studium muß man die Labyrinth exstirpieren und die Stellung des Kopfes gegen den Körper ändern. Dann ergibt sich, daß man durch Änderung der Kopfstellung nicht nur Vertikalabweichungen und Raddrehungen, sondern auch Horizontalabweichungen mit Beteiligung des *Rectus externus* und *internus* hervorrufen kann.

Geht man von der Normalstellung des Tieres und der normalen Kopfhaltung aus, so sind die beschriebenen tonischen Reflexe auf die Augenmuskeln wirklich kompensatorisch, d. h. die Augen ändern ihre Stellung in der Orbita in dem Sinne, daß sie möglichst ihre Orientierung zur Außenwelt beizubehalten trachten. Dieses gelingt aber weder den Otolithenreflexen noch den Halsreflexen für sich allein. Wenn beispielsweise das Tier seinen Kopf um  $45^\circ$  hebt, so führen unter dem Einfluß der Otolithen die Bulbi keineswegs eine Rollung von  $45^\circ$  nach vorne aus, und das gleiche erfolgt auch nicht unter dem alleinigen Einfluß der Halsreflexe. *De Kleyn* konnte aber zeigen, daß, wenn diese beiden Reflexgruppen zusammenwirken, die *Kompensation vollständig wird*, wenigstens wenn das Ausmaß der Kopfbewegung das normale Maß nicht überschreitet. Beim Heben und Senken des Kopfes kann das Tier Bewegungen um  $100^\circ$ , beim Drehen und Wenden um  $40-50^\circ$  ausführen, ohne daß die Orientierung der Augäpfel zur Außenwelt sich ändert. Auf diese Weise wird erreicht, daß bei den verschiedenen Kopfstellungen die rechte und die linke optische Welt nicht auseinanderfallen und bei verschiedenen Kopfstellungen die gesamte gesehene Welt sich nicht verschiebt.

Hiermit ist aber die Feinheit des hier beschriebenen Mechanismus noch nicht erschöpft. Wenn das Tier, ausgehend von der Normalstellung, seinen Kopf in verschiedene Lagen bringt, so führt es ja *Bewegungen* aus, und diese müssen den Bogengangsapparat erregen und *Drehreaktionen* (mit zugehörigem Nystagmus) der Augen veranlassen. Es hat sich nun ergeben, daß die Richtung dieser Drehreaktionen eine derartige ist, daß die Augen dadurch so bewegt werden, daß sie diejenigen Stellungen erreichen, in welchen sie nachher durch die kombinierten Otolithen- und Halsreflexe festgehalten werden. Jede Kopfbewegung leitet also durch Bogengangsreaktion eine *Augenbewegung* ein zu einer *Stellung*, in welcher das Auge nachher durch die tonischen Reflexe festgehalten wird. Aus dem Geschilderten ersieht man, daß es sich um einen Präzisionsmechanismus von seltsamer Vollendung handelt. Sobald das Tier sich jedoch in abnormen Lagen, beispielsweise in Rückenlage, befindet, ar-

beiten Bogengangsapparat und Otolithen- und Halsreflexe nicht mehr in der geschilderten zweckmäßigen Weise zusammen.

Die *Zentren* für die Labyrinthreflexe auf die Augen liegen zwischen Octavuseintritt und Augenmuskelnkernen. Das war für die Bogengangsreaktionen schon längst durch *Högyes* gezeigt, hat sich aber auch für die Otolithenreflexe beweisen lassen.

Die dritte Gruppe der hier zu besprechenden Reflexe sind die *Stellreflexe*.

Oben wurde bereits darauf hingewiesen, daß bei einem dezerebrierten Tiere die Streckmuskulatur sich in übertriebenem Tonus befindet, daß das Tier stehen, aber sich nicht aus abnormen Lagen aufrichten kann. Bringt man den Schnitt durch den Hirnstamm aber etwas weiter nach vorne an, beispielsweise unmittelbar am Vorderrande des Mittelhirnes, so daß dieses letztere vollständig intakt ist (Mittelhirntier), so ändert sich das physiologische Verhalten vollständig. Es tritt *keine Enthirnungsstarre* ein. Im Gegenteil, der Tonus zwischen Streck- und Beugemuskulatur ist gerade so „ausbalanciert“ wie beim normalen Tiere. Infolgedessen ist auch die Körperhaltung *normal*. Trotzdem bei einem derartigen Mittelhirntier das Striatum vollständig fehlt, tritt doch der sogenannte „Striatumkomplex“ nicht ein, die Muskulatur zeigt keine Kontrakturen, und Starre und Tremor läßt sich nicht beobachten. Das Verhalten dieser Tiere ohne Striatum gleicht in bezug auf Muskeltonus und Körperhaltung vollständig dem normaler Tiere mit intaktem Gehirn. Diese Tatsachen sollten von den Neurologen, welche sich ja neuerdings mit der Pathologie des Striatums beschäftigen, berücksichtigt werden.

Ein weiterer Unterschied zwischen dem Mittelhirntier und dem dezerebrierten Tier wird dadurch gegeben, daß letzteres nicht imstande ist, aus abnormen Lagen sich aufzurichten. Bringt man dagegen das Mittelhirntier in Seitenlage, Rückenlage usw., so setzt es sich sofort reflektorisch in Normalstellung auf. Es hat die Fähigkeit, *sich selbst zu stellen*. Die Gesamtheit derjenigen Reflexe, welche ein solches Tier befähigen, aus allen abnormen Lagen jeweils die Normalstellung anzunehmen und sich darin zu erhalten, soll als *Stellreflexe* bezeichnet werden. An diesen beteiligen sich ebenfalls die Otolithen, es sind aber außer den Otolithen noch andere Rezeptionsorgane tätig.

Die *Labyrinthstellreflexe auf den Kopf*, welche dazu führen, daß der Kopf in die Normalstellung gebracht wird, lassen sich am Mittelhirntier (oder Thalamustier) isoliert untersuchen, wenn man die übrigen Stellreflexe ausschaltet, zu welchem Zwecke man die Berührung des Tieres mit der Unterlage vermeiden muß. Hält man ein solches Tier in verschiedenen Lagen frei in der Luft, so wird der Kopf jedesmal in Normalstellung ge-

bracht. Bringt man in der Luft den Körper in wechselnde Lagen, so bleibt trotzdem der Kopf in Normalstellung stehen. Um zu entscheiden, von welchen Otolithen diese Reflexe ausgelöst werden, geht man am besten wieder von den Verhältnissen nach einseitiger Labyrinthexstirpation aus. Schon beim dezerebrierten Tier erfolgt, wie oben mitgeteilt wurde, nach einseitiger Labyrinthexstirpation durch die Wirkung der intakt gebliebenen Utriculusmacula eine Drehung des Kopfes nach der operierten Seite (Grunddrehung). Sobald nun das Mittelhirn intakt ist und der Labyrinthstellreflex vom übrigbleibenden Labyrinth aus dazu kommt, wird bei den verschiedenen Lagen des Körpers im Raume diese Grunddrehung durch den Stellreflex modifiziert, und zwar entweder verstärkt oder vermindert, aber immer in der Richtung, daß dabei der Kopf in *Seitenlage* mit dem erhaltenen Labyrinth nach oben kommt. Aus der Tatsache, daß die Ruhelage nach einseitiger Labyrinthexstirpation sich um nahezu  $90^\circ$  verschiebt, können wir bereits schließen, daß die Auslösungsstätte in den Sacculusmaculae gelegen sein muß. Tatsächlich befindet sich der Sacculusotolith in der Ruhestellung nach einseitiger Labyrinthexstirpation *horizontal*, und der Otolith *drückt* auf die Macula, während umgekehrt bei *hängendem* Otolith das Maximum der Erregung ausgelöst wird. Sind beide Labyrinth intakt, so halten sich die von der rechten und linken Sacculusmacula ausgehenden Erregungen gerade das Gleichgewicht, und der Kopf steht in Normalstellung. Sobald der Kopf aus dieser Stellung nach rechts oder links gedreht wird, überwiegt die Erregung von dem mehr unten befindlichen Sacculus und der Kopf wird wieder nach der Normalstellung zurückgeführt. Ob außerdem sich auch die Utriculusmaculae an den Stellreflexen beteiligen, läßt sich bisher nicht mit Sicherheit beweisen; dafür spricht, daß durch die Labyrinthstellreflexe der Kopf nicht nur in *eine* beliebige symmetrische Stellung, sondern gerade in diejenige gebracht wird, in welcher die Utriculusotolithen horizontal stehen.

Exstirpiert man einem Mittelhirn- oder Thalamustier beide Labyrinth, so ist dasselbe in der Luft vollständig desorientiert und kann seinen Kopf nicht mehr in die Normalstellung bringen. Sobald man das Tier aber aus der Luft auf den *Boden* legt, wird sofort bei der Berührung mit der Unterlage ein Reflex ausgelöst, durch welchen ebenfalls der Kopf in die Normalstellung kommt. Der hierzu führende Reiz ist die asymmetrische Erregung der Drucksinnesorgane des Körpers (*Körperstellreflexe auf den Kopf*). Es läßt sich dieses dadurch beweisen, daß man diesen Reflex jederzeit aufheben und den Kopf wieder in Seitenlage zurückbringen kann, wenn man den einseitigen Druck der Unterlage durch ein auf die oben befindliche Körperseite aufgelegtes beschwertes Brett kompensiert. Sobald man das

Brett fortnimmt, geht der Kopf wieder in Normalstellung.

Die beiden geschilderten Reflexe, Labyrinthstellreflexe und Körperstellreflexe auf den Kopf bringen demnach den Kopf in die Normalstellung. Sobald dieser in der Normalstellung steht, der Körper aber noch nicht, muß es zu einer Verdrehung oder Verbiegung des Halses kommen. Diese löst durch Vermittlung der Propriozeptoren des Halses einen *Halsstellreflex* aus, durch welchen der Körper gezwungen wird, den Kopf zu folgen und ebenfalls die Normalstellung anzunehmen. Zunächst dreht sich dabei der Thorax und danach erst das Becken in die Normalstellung; es handelt sich um einen sogenannten Kettenreflex.

Hiermit kann aber noch nicht die Gesamtheit der Stellreflexe erschöpft sein, denn wir wissen, daß der Körper nicht umfällt, auch wenn der Kopf schief oder in anderen abnormen Lagen steht. Es müssen noch Stellreflexe vorhanden sein, welche den Körper auch unabhängig vom Kopf in die Normalstellung bringen. Das läßt sich tatsächlich nachweisen. Bringt man ein Tier in Seitenlage in der Luft und legt es dann auf den Boden, wobei man den Kopf in Seitenlage festhält, so setzt sich der Körper sofort in Normalstellung auf, trotzdem der Kopf ihn in Seitenlage festzuhalten sucht. Auch hier läßt sich durch den obengeschilderten „Brettversuch“ nachweisen, daß dieser Reflex durch die asymmetrische Erregung der Drucksinnesorgane des Körpers ausgelöst wird (*Körperreflexe auf den Körper*).

Diese vier Reflexgruppen wirken zusammen, um dem Thalamus- oder Mittelhirntier die Einnahme und Aufrechterhaltung der normalen Körperstellung zu ermöglichen; und zwar ist hierbei alles doppelt gesichert: der Kopf wird richtig gestellt von den Otolithen aus und durch die Körperstellreflexe, der Körper wird richtig gestellt vom Kopfe her durch die Halsstellreflexe und außerdem direkt durch die Körperstellreflexe. Die asymmetrische Erregung der Drucksinnesorgane bewirkt Geradesetzen des Kopfes und Geradesetzen des Körpers. So ist dafür gesorgt, daß wenn einer der Mechanismen in Unordnung kommt, trotzdem noch andere Reflexe vorhanden sind, durch welche die normale Körperstellung gewährleistet wird.

Auch Kaninchen und Meerschweinchen mit intaktem Großhirn haben keine anderen Stellreflexe. Bei Hund, Katze und Affe mit intaktem Großhirn kommt jedoch noch eine fünfte Gruppe von Stellreflexen hinzu: *optische Stellreflexe*. Untersucht man nämlich Tiere nach doppelseitiger Labyrinthexstirpation frei in der Luft, so ist zunächst der Kopf desorientiert; sobald sie aber irgendeinen Gegenstand der Außenwelt mit den Augen fixieren, geht der Kopf sofort in Normalstellung und bleibt darin, solange das Tier den betreffenden Gegenstand betrachtet. Der



Reflex schwindet nach Großhirnexstirpation und nach Verschuß der Augen. Dieser optische Stellreflex ist der einzige, welcher seine Zentren nicht ausschließlich im Hirnstamm hat. Es ist das der einzige Fall, in welchem sich auch die Großhirnrinde an der Stellfunktion beteiligt.

Die Zentren für die Halsstellreflexe liegen verhältnismäßig weit nach hinten im hinteren Teil des Mittelhirns und der vorderen Hälfte der Medulla oblongata. Die Zentren für die Labyrinthstellreflexe und die Körperstellreflexe liegen dagegen im vordersten Teile des Mittelhirns und zwar, wie die genauen Untersuchungen von Dr. Rademaker ergeben haben, in der Gegend des roten Kernes. Ob wirklich der rote Kern selber das *Stellzentrum* ist, werden hoffentlich weitere Untersuchungen von Dr. Rademaker binnen kurzem zeigen.

Bei der Besprechung der drei geschilderten großen Reflexgruppen: der Haltungsreflexe, der kompensatorischen Augenstellungen und der Stellreflexe ließ sich zeigen, daß das Maximum der Erregung von den Otolithen ausgeht, wenn dieselben horizontal stehen. Außerdem ließ sich für die Sacculushauptstücke mit Sicherheit beweisen und für die Utriculusmaculae höchst wahrscheinlich machen, daß das Maximum der Erregung vorhanden ist, wenn der Otolith hängt, und das Minimum, wenn er drückt, während an den Dorsallappen der Sacculi die Verhältnisse bisher noch nicht sehr übersichtlich liegen. Es erhebt sich nun die Frage, in welcher Weise die Otolithen diese Änderungen der Erregung in der Macula zustandebringen. Hierfür müssen wir natürlich zunächst wissen, in welchem Erregungszustand sich das Sinnesepithel befindet, wenn die Otolithen nicht auf dasselbe einwirken. Es gibt zwei Möglichkeiten: entweder ist dann das Sinnesepithel in Ruhe und seine Tätigkeit wird erst durch Drücken oder Ziehen der Otolithenmembranen ausgelöst, oder aber das Sinnesepithel ist von sich aus imstande, Dauererregungen zu erzeugen, ebenso wie die Netzhaut ohne Belichtung das *Eigenlicht der Retina* erzeugt. Die Entscheidung zwischen diesen beiden Möglichkeiten läßt sich verhältnismäßig einfach treffen. Man zentrifugiert bei einem Meerschweinchen sämtliche Otolithen ab, was natürlich nachher durch anatomische Untersuchung sichergestellt werden muß. Darauf wartet man so lange, bis alle Reizerscheinungen nach dem Zentrifugieren abgeklungen sind, was meistens nach einigen Stunden oder am folgenden Tage der Fall ist. Die entscheidenden Versuche wurden aber erst nach sieben bis neun Tagen ausgeführt. Nun schaltet man ein Labyrinth durch Einspritzen von etwas Kokain ins Mittelohr vorübergehend aus. Sind die Otolithenmaculae auf der normal gebliebenen Seite ohne Erregung, so darf die Fortnahme oder die Ausschaltung des anderen Labyrinthes keine von den Otolithen-

maculae ausgehenden Symptome hervorrufen. Befinden sich dagegen die Maculae in Dauererregung, so muß die Fortnahme des einen Labyrinthes die Folgen dieser einseitigen Otolithenerregungen hervortreten lassen. Es müssen die gleichen von den Otolithen ausgehenden Symptome auftreten, wie nach einseitiger Labyrinthexstirpation. Das letztere ist nun tatsächlich der Fall. Nach der Einspritzung des Kokains treten nach etwa 10 Minuten Kopfdrehung Augen-deviation, Rollbewegungen und sämtliche durch die Kopfdrehung sekundär ausgelösten Halsreflexe auf, zum Beweise dafür, daß die Otolithenmaculae des nicht ausgeschalteten Labyrinthes ohne *Otolithen Dauererregungen produzieren*. Am folgenden Tage ist die Kokainwirkung abgeklungen und das Tier sitzt wieder vollständig normal da.

Nur ein Unterschied ist gegenüber Tieren ohne Otolithenabschleuderung vorhanden. Bringt man nämlich ein Meerschweinchen ohne Otolithen nach einseitiger Labyrinthausschaltung in verschiedene Lagen im Raume, so ändert sich die Größe der Kopfdrehung und der Augenabweichung nicht, weil eben die Otolithen fehlen, welche sonst die Stärke der Erregungsvorgänge in den Maculae der intakten Seite modifizieren.

Aus diesen Versuchen ergibt sich, daß das Sinnesepithel der Otolithenmaculae imstande ist, von sich aus Dauererregungen zu produzieren, deren Größe, wenn die Otolithen fehlen, unabhängig von der Lage der Macula im Raume ist. Wenn aber die Otolithen an Ort und Stelle sind, verändern sie die Stärke dieser Dauererregungen, und zwar läßt sich für die Sacculushauptstücke beweisen und für die Utriculusmaculae höchst wahrscheinlich machen, daß die Erregung des Sinnesepithels maximal wird, wenn der Otolith hängt, also an den Sinneshaaren zieht, während umgekehrt die Erregung gedämpft wird, wenn der Otolith auf die Macula drückt. Wir haben damit einen ersten Einblick in die Tätigkeitsweise dieses bisher so rätselhaften Organes bekommen.

Im vorhergehenden konnte gezeigt werden, wie weit man bisher durch eine objektive Analyse der von den Otolithen ausgelösten Reflexe und der übrigen mit diesen zum gleichen Ziele zusammenwirkenden Reflexgruppen gekommen ist. Es ergibt sich, daß die Otolithen stets nur einen Teil der Funktion ausüben und mit anderen Rezeptionsorganen zusammenarbeiten. Hierdurch ist es auch möglich gewesen, eine vollständige Analyse der nach einseitiger Labyrinthexstirpation auftretenden Symptome zu liefern und weiter auch die Folgezustände des doppelseitigen Labyrinthverlustes zu begreifen. In letzteren Fällen bleibt die Tätigkeit der sämtlichen übrigen Rezeptionsorgane erhalten, und wir können feststellen, bis zu welchen Leistungen diese letzteren fähig sind. Die geschilderten Reflexe sind bei

sämtlichen untersuchten Tierarten (Meerschweinchen, Kaninchen, Katze, Hund und Affe) vorhanden. Es ist aber interessant festzustellen, welchen verschiedenen Gebrauch diese Tiere je nach ihrem Körperbau und der Entwicklung ihres Zentralnervensystems von diesen Reflexen machen. Man kann sich das leicht veranschaulichen, wenn man das Verhalten eines niedrig stehenden Hocktieres, wie des Meerschweinchens, mit dem eines hoch entwickelten Spring- und Klettertieres wie des Affen mit seiner ausgebildeten Großhirntätigkeit vergleicht. Eine nächste Aufgabe der Untersuchung ist, festzustellen, wie der Mensch, der die genannten Reflexgruppen ebenfalls besitzt, dieselben für seine besonderen Zwecke benutzt. Hier ergibt sich sowohl für die physiologische als für die pathologische Forschung ein dankbares Arbeitsfeld.

#### Literatur:

1. Pflügers Archiv Bd. 186, S. 6, 1921 (dort die frühere Literatur). — 2. Ibid. 193, 396, 1922. — 194, 407, 1922. — 3. Verhandl. d. Dtsch. pharmakologischen Gesellschaft 1921. — 4. Sitzungsber. d. Kon. Academie v. Wetenschappen Amsterdam 31, 184, 1922.

### Über die von der Deutschen Atomgewichtskommission herausgegebene Tabelle der „Chemischen Elemente und Atomarten“.

Von Otto Hahn, Berlin-Dahlem.

Im letzten Hefte dieser Zeitschrift hat Herr R. J. Meyer in einem Aufsatz über Atomgewichtsfragen die historische Entwicklung und den gegenwärtigen Stand der praktischen Atomgewichtsforschung in übersichtlicher Weise dargestellt. Der Verfasser ist auch kurz eingegangen auf den prinzipiellen Unterschied, der zwischen der deutschen Atomgewichtstabelle für 1921 und allen früheren und auch den gleichzeitig erschienenen internationalen und einzelstaatlichen Atomgewichtstabellen besteht. Der Unterschied beruht nämlich auf ihrer Zweiteilung; es wurde aufgestellt I. eine Tabelle der praktischen Atomgewichte und II. eine Tabelle der chemischen Elemente und Atomarten in der Reihenfolge der Ordnungszahlen.

Herr R. J. Meyer beschränkt sich in seinen Darlegungen auf die Besprechung der „Praktischen Atomgewichte“, also auf die Tabelle I der Kommission. Im folgenden sollen nun in Kürze die Gründe dargelegt werden, weshalb noch eine weitere Tabelle aufgestellt wurde, und die Gesichtspunkte erörtert werden, nach denen bei Aufstellung dieser neuartigen zweiten Tabelle verfahren wurde.

Zum ersten Male als zu eng gefaßt erwies sich die bisher geläufige Übersicht über das periodische System der Elemente und die damit zusammenhängende Atomgewichtstabelle nach der Auffindung der zahlreichen radioaktiven Substanzen. Beim Radium und der Radiummana-

tion konnte kein Zweifel bestehen, daß man es hier mit neuen chemischen Elementen zu tun hatte, denn sie genügten durchaus den allgemeinen Anforderungen, die man an ein chemisches Element zu stellen gewohnt war. Ihre chemischen Eigenschaften und ihr besonders im Falle des Radiums äußerst exakt bestimmtes Atomgewicht wiesen ihnen Plätze an, die vorher unbesetzt waren. Daß diese Stoffe einem inneratomistischen Atomzerfall unterliegen, daß sie sich unter Abspaltung von Helium stufenweise in neue Substanzen mit neuen chemischen Eigenschaften abbauen, konnte ihre Stellung als chemische Elemente nicht erschüttern, vielmehr mußte man umgekehrt die Unveränderlichkeit und innere Einheitlichkeit der chemischen Grundstoffe aufgeben.

Viel schwieriger war aber die Einreihung der vielen anderen radioaktiven Substanzen, die im Laufe der Jahre entdeckt worden waren. Sie hatten das gleiche Recht, als chemische Elemente behandelt zu werden, wie die beiden oben genannten. Der Unterschied bestand nur darin, daß sie im allgemeinen zu unbeständig waren, als daß sie sich in wägbaren Mengen hätten ansammeln können. Aber auf Grund einwandfrei nachweisbarer Beziehungen untereinander konnte man die Atomgewichte auch dieser Substanzen mit großer Sicherheit angeben; im Prinzip stand nichts dagegen, auch diese Stoffe in die Atomgewichtstabelle aufzunehmen.

Immerhin handelte es sich bei all diesen Körpern um Elemente, die für den praktisch arbeitenden Chemiker keine unmittelbare Bedeutung hatten. Es genügte die Aufstellung spezieller Tabellen der radioaktiven Substanzen und ihrer Beziehungen untereinander, um den Anforderungen der Forschung Rechnung zu tragen. Die Atomgewichtstabelle blieb im wesentlichen die gleiche wie vorher.

Die weitere Erforschung der radioaktiven Stoffe und ihrer Beziehungen untereinander brachte nun aber bald eine Reihe von Entdeckungen, von denen auch die gewöhnlichen chemischen Elemente nicht unberührt blieben, und an denen man bei Abfassung der Atomgewichtstabelle nicht vorbeigehen konnte. Durch die Aufstellung der radioaktiven Verschiebungssätze wurden die chemischen Eigenschaften aller bekannten Radioelemente eindeutig festgelegt und ihre Stellung im periodischen System sichergestellt. Es zeigte sich, daß die Stellen im periodischen System vom Thallium bis zum Uran, soweit sie überhaupt besetzt waren, niemals von nur einem, sondern häufig von einer ganzen Anzahl von chemisch gleichen Elementen ausgefüllt wurden, deren Atomgewichte untereinander bis zu 8 Einheiten verschieden sein konnten.

Solche Elemente gleicher Platznummer im periodischen System und damit gleicher chemischer Eigenschaften, aber verschiedenem Atomgewicht, werden bekanntlich als isotope Elemente



bezeichnet. Und der erste große praktische Erfolg der Isotopenlehre war die Auffindung der isotopen Bleiarten.

Mit den isotopen Bleiarten ist der Übergang von den radioaktiven Elementen zu den gewöhnlichen chemischen Elementen vollzogen. Zu dem gewöhnlichen Blei vom Atomgewicht 207,2 treten neben einer Anzahl radioaktiver zwei weitere inaktive Bleiarten, das Uranblei vom Atomgewicht 206 und das Thorblei vom Atomgewicht 208. Ihr Name zeigt ihren Ursprung an; alles Blei, das z. B. durch den Zerfall des Urans im Laufe der Jahrtausende entstanden ist, hat nicht das Atomgewicht 207,2, sondern das Atomgewicht 206; da sich dieses Uranblei bei Verarbeitung geeigneter reiner Uranminerale u. U. tonnenweise herstellen läßt, so muß die Atomgewichtstabelle diesem Blei in irgendeiner Weise Rechnung tragen.

Nach Mitteilungen der Herren *St. Meyer* und *Hönigschmid* ist im belgischen Kongo vor kurzem ein Uranmineral aufgefunden worden, das durch einen Gehalt von nicht weniger als 25 % augenscheinlich reinen Uranbleis ausgezeichnet ist, und dessen geologisches Alter sich daher auf mehrere Milliarden Jahre berechnen läßt. Im Hinblick hierauf könnte man nun leicht folgendes Gedankenspiel machen. Das gewöhnliche Blei ist im belgischen Kongo nicht erhältlich. Die Studenten der Kongohochschulen würden sich daher zweckmäßig ihr Blei aus dem erwähnten Uranmineral abscheiden und dann ihre quantitativen Analysen mit diesem Uranblei durchführen. Bei Benutzung des Bleiatomgewichts der üblichen Atomgewichtstabellen bekämen sie nun immer falsche, und zwar zu niedrige Werte für ihr Blei. In der Kongotabelle hätte eben für Blei der Wert 206,0 zu stehen, statt 207,2.

Ganz ebenso läßt sich leicht der Fall konstruieren, daß die jungen Analytiker ihr Blei aus uranfreien Thormineralen gewannen. Auch sie machten ihre Analysen falsch, und zwar im umgekehrten Sinne.

Heute wissen wir, daß es nicht nur unter den radioaktiven Stoffen und ihren letzten Umwandlungsprodukten isotope Elemente gibt, sondern die grundlegenden Arbeiten von *Aston* über die Massenspektroskopie der gewöhnlichen chemischen Elemente hat eine sich noch dauernd vermehrende Anzahl isotoner Elementgemische aufgedeckt, so daß man heute mit Sicherheit sagen kann, daß alle Elemente, deren Atomgewicht sich wesentlich von der Ganzzahligkeit, bezogen auf Sauerstoff = 16,000, unterscheidet, Isotopengemische vorstellen.

Aus alledem sieht man, daß das Atomgewicht nicht mehr das unveränderliche Charakteristikum chemischer Elemente vorstellt. An seine Stelle ist eine andere Größe getreten, nämlich die sog. Ordnungszahl, die man erhält, wenn man die chemischen Elemente in der Reihenfolge ihrer Stellung im periodischen System fortlaufend durch-

numeriert, also beginnend beim Wasserstoff = 1, fortlaufend beim Helium = 2 usf. bis schließlich endigend beim Uran, dem die höchste Ordnungszahl = 92 zuzuschreiben ist. Daß die Zuordnung der Ordnungszahlen einwandfrei ist, ergibt sich aus den Moseleyschen Messungen der Röntgenspektren der chemischen Elemente, aus denen sich die Anzahl der Lücken im periodischen System mit Sicherheit erkennen läßt; aus denen man auch gleichzeitig sieht, daß die früheren Unstimmigkeiten zwischen der Stellung gewisser Elemente im periodischen System und ihrem Atomgewicht (A—K, Co—Ni, Te—J) nur scheinbar sind, hervorgerufen durch das zufällige mittlere Atomgewicht der betr. Isotopengemische.

Die Ordnungszahl bestimmt also einwandfrei die Stellung eines Elementes im periodischen System, und bei einer systematischen Aufstellung einer Elemententabelle tritt diese Ordnungszahl an Stelle des früheren Atomgewichts.

Die deutsche Atomgewichtskommission hat nun diesen neueren Erkenntnissen in der Elementenforschung durch Aufstellung ihrer Tabelle II Rechnung getragen. Sie unterscheidet darin zwischen „Element“ und „Atomart“<sup>1)</sup>. Das Element ist definiert durch seine Ordnungszahl und seine Stelle im periodischen System. Es kann selbst noch aus einem Gemisch einiger oder einer ganzen Anzahl von „Atomarten“ bestehen, deren „Atomgewichte“ sich um ganze oder nahezu ganze Einheiten voneinander unterscheiden. Nach *Fajans* bezeichnet man diese an einer Stelle des periodischen Systems stehenden Isotopengruppen als Plejaden. Die Atomarten sind also in ihren Eigenschaften genauer definiert als die Elemente. Neben bestimmter Ordnungszahl und daher festgelegter Stellung im periodischen System haben sie ein feststehendes einheitliches Atomgewicht. Im Falle der radioaktiven Substanzen sind sie außerdem charakterisiert durch ihre speziellen radioaktiven Eigenschaften, mittels deren sie sich von allen anderen Atomarten unterscheiden. Ohne jeden Zwang lassen sich so die radioaktiven und die isotopen Atomarten zu einer einheitlichen übersichtlichen Tabelle zusammenfassen.

Der Begriff des Symbols als Formelabkürzung für die Elemente wurde beibehalten; das Symbol bezeichnet also die Stellung des Elementes im periodischen System. Als Formelabkürzung für die Atomart wurde der Ausdruck „Atomzeichen“ eingeführt. Durch das Symbol wird somit nur die Ordnungszahl, unabhängig vom Atomgewicht, dargestellt; durch das Atomzeichen außer der Ordnungszahl auch das Einzelatomgewicht.

Beispiel: Pb, d. h. Element Blei, Ordnungszahl 82; Pb<sub>206</sub>, d. h. Atomart Uranblei, Ordnungszahl 82, Atomgewicht 206.

Bei Elementen, die nur aus einer einzigen

<sup>1)</sup> *F. Paneth*, Naturwissenschaften 8, 839, 1920.

Atomart bestehen, deckt sich die Bezeichnung der Atomart mit der des Elementes und entsprechend das Atomzeichen mit dem Symbol.

Bei den aus mehreren Atomarten bestehenden gewöhnlichen Elementen fehlt bisher für die einzelnen Atomarten eine systematische Bezeichnung. Die Deutsche Atomgewichtskommission wollte hier einer endgültigen Namengebung nicht vorgreifen. Sie hat in ihrer Tabelle zwecks besserer Übersicht für die zu einer und derselben Ordnungszahl gehörigen verschiedenen Atomarten den Namen des Elementes unter Beisetzung der Einzelatomgewichte als Indizes aufgeführt. So bezeichnet  $\text{Chlor}_{35}$  die Atomart Chlor mit dem Einzelatomgewicht 35.

Die radioaktiven Atomarten, deren Bezeichnungen sich historisch aus ihrer Entdeckungsgeschichte und ihren Beziehungen untereinander ergeben, behielten ihre allgemein angenommenen Namen bei. Sie stehen als einzelne Atomarten bei den Elementen, zu denen sie ihrer Ordnungszahl und ihren chemischen Eigenschaften nach gehören, z. B.  $\text{RaC}$ ,  $\text{ThC}$  beim Wismut, Uran I, Uran II beim Uran.

In den Fällen, in denen einer bestimmten Ordnungszahl nur radioaktive Atomarten zugehören, wurde der Name der beständigsten Atomart als Elementbezeichnung beibehalten, z. B. Radium, Polonium.

Die Bestimmung der Einzelatomgewichte der nicht radioaktiven Atomarten geschah mit Ausnahme des Uranbleis und Thorbleis, immer nach der Methode der „Kanalstrahlenanalyse“. Die Genauigkeit dieser Bestimmungen reicht vorerst nicht an die Genauigkeit der chemischen oder physiko-chemischen praktischen Atomgewichtsbestimmungen heran. In den besten Fällen beträgt die Fehlermöglichkeit noch 1 Promille. Soweit es sich aber bis jetzt überblicken läßt, sind die Einzelatomgewichte ganze oder sehr nahe ganze Zahlen. Daher sind alle Einzelatomgewichte auch in der Tabelle als ganze Zahlen angegeben, und zwar mit der Stellingengenauigkeit, wie die Bestimmungsmethode sie zuläßt. Die einzige Ausnahme von dieser Ganzzahligkeit bildet vorerst der Wasserstoff, der auch nach der Kanalstrahlenmethode sich zu 1,008, verglichen mit Sauerstoff = 16,000 ergibt.

Aber es ist durchaus möglich, daß auch andere Einzelatomgewichte Abweichungen von der Ganzzahligkeit zeigen werden, und zwar aus folgenden Gründen: Nach allem, was man heute über den Aufbau der Atomkerne weiß, bestehen diese aus Heliumkernen, Wasserstoffkernen und Elektronen. Außerdem ist es im höchsten Maße wahrscheinlich, daß auch die Heliumkerne ihrerseits aus Wasserstoffkernen aufgebaut sind. Da nun das Atomgewicht des Wasserstoffs 1,0077 ist, das des Heliums 4,0, so muß bei der Bildung des Heliums aus Wasserstoff ein Massenverlust, ein sog. Massendefekt stattgefunden haben, den man sich nach der modernen Auffassung der

Äquivalenz von Energie und Masse erklären kann durch eine ungeheure Energieabgabe bei der Bildung des Heliums. Diese Energieabgabe läßt sich aus dem tatsächlich beobachteten Massendefekt berechnen. Sie ist pro Heliumatom um ein Mehrfaches größer, als der Energie der aus den radioaktiven Elementen emittierten  $\alpha$ -Strahlen entspricht. Dies erklärt die große Stabilität der Heliumatome und erklärt, warum es nicht gelingt, Helium durch  $\alpha$ -Strahlen in Wasserstoff zu zerlegen. Die Energie auch der schnellsten  $\alpha$ -Strahlen reicht dazu noch nicht aus. Andererseits ist es *Rutherford* einwandfrei gelungen, den Kern des Stickstoffs und einer Reihe anderer Elemente durch  $\alpha$ -Strahlen zu zertümmern. Und zwar sind das immer Elemente, deren Atomgewicht nicht durch 4 teilbar sind, die also nicht aus reinen Heliumkernen entstanden sein können.

Nehmen wir z. B. den Fall des Stickstoffs, so kann man ihn sich aufgebaut denken aus 3 Heliumkernen und 2 Wasserstoffkernen. Da es gelingt, die Wasserstoffkerne aus dem Stickstoff herauszuschlagen, so folgert *Rutherford*, daß die beiden Wasserstoffkerne nicht so fest in dem Atomkern des Stickstoffs verankert sind, als das Helium; daß sie vielleicht als Satelliten um die 3 Heliumkerne kreisen. In diesem Falle ist es also durchaus möglich, daß das Atomgewicht des Stickstoffs nicht genau = 14,00 ist, sondern sich zusammensetzt aus 3 Heliumkernen = 12,0 und 2 Wasserstoffkernen  $2 \times 1,0077 = 2,015$ , was zusammen das Atomgewicht 14,015 ergibt. Das experimentell gefundene Atomgewicht des Stickstoffs liegt etwa in der Mitte zwischen diesem Wert und der ganzen Zahl 14,00. Eine nach Möglichkeit noch genauere Bestimmung des Stickstoffatomgewichts wäre im Hinblick auf die eben angeschnittene Frage des Massendefektes von größtem Interesse.

Man erkennt aus diesem Beispiel den großen Wert, den sehr genaue Atomgewichtsbestimmungen auch heute noch haben.

Ein anderes Beispiel für den Massendefekt, der beim Freiwerden großer Energiemengen eintritt, bieten die unter  $\alpha$ -Strahlen-Emission einhergehenden radioaktiven Prozesse. Aus der Energie eines schnell bewegten  $\alpha$ -Teilchens läßt sich berechnen, daß bei den radioaktiven  $\alpha$ -Umwandlungen außer dem Verlust von je 4 Atomgewichtseinheiten für das ausgeschleuderte Heliumatom ein Massendefekt von 0,009 Atomgewichtseinheiten pro  $\alpha$ -Strahlen-Umwandlung eintritt. Angenommen nun, das Radium hätte genau das Atomgewicht 226,0, dann berechnet sich hieraus für das durch Emission von 5 Heliumatomen entstehende Uranblei nicht der Wert 206,0, sondern er ist um  $5 \cdot 0,009 = 0,045$  Einheiten niedriger; es ergäbe sich der theoretische Wert für das Uranblei zu 205,955. Auch hier sind sehr genaue Atomgewichtsbestimmungen an einwandfrei reinem Uranblei von hohem



Tabelle der chemischen Elemente und Atomarten in der Reihenfolge der Ordnungszahlen<sup>1)</sup>.

| Ordnungs-<br>zahl | Symbol | Bezeichnung<br>des Elementes | „Praktisches<br>Atom-<br>gewicht“ | Bezeichnung<br>der Atomart               | Atom-<br>zeichen | „Einzel-<br>Atom-<br>gewicht“,<br>soweit<br>bisher fest-<br>gestellt |
|-------------------|--------|------------------------------|-----------------------------------|--|------------------|--|
| 1                 | H      | Wasserstoff.....             | 1,008                             | Wasserstoff.....                         | H                | 1,008  |
| 2                 | He     | Helium.....                  | 4,00                              | Helium.....                              | He               | 4,0  |
| 3                 | Li     | Lithium.....                 | 6,94                              | Lithium <sub>6</sub> .....               |                  | 6,0  |
|                   |        |                              |                                   | Lithium <sub>7</sub> .....               |                  | 7,0  |
| 4                 | Be     | Beryllium.....               | 9,1                               |  |                  |  |
| 5                 | B      | Bor.....                     | 10,9                              | Bor <sub>10</sub> .....                  |                  | 10,0   |
|                   |        |                              |                                   | Bor <sub>11</sub> .....                  |                  | 11,0   |
| 6                 | C      | Kohlenstoff.....             | 12,00                             | Kohlenstoff.....                         | C                | 12,0   |
| 7                 | N      | Stickstoff.....              | 14,008                            | Stickstoff.....                          | N                | 14,0   |
| 8                 | O      | Sauerstoff.....              | 16,000                            | Sauerstoff.....                          | O                | 16,000   |
| 9                 | F      | Fluor.....                   | 19,00                             | Fluor.....                               | F                | 19,0   |
| 10                | Ne     | Neon.....                    | 20,2                              | Neon.....                                |                  | 20,0   |
|                   |        |                              |                                   | Metaneon.....                            |                  | 22,0   |
|                   |        |                              |                                   | Neon <sub>21</sub> ?.....                |                  | 21,0?  |
| 11                | Na     | Natrium.....                 | 23,00                             | Natrium.....                             |                  | 23   |
| 12                | Mg     | Magnesium.....               | 24,32                             | Magnesium <sub>24</sub> .....            |                  | 24   |
|                   |        |                              |                                   | Magnesium <sub>25</sub> .....            |                  | 25   |
|                   |        |                              |                                   | Magnesium <sub>26</sub> .....            |                  | 26   |
| 13                | Al     | Aluminium.....               | 27,1                              |  |                  |  |
| 14                | Si     | Silicium.....                | 28,3                              | Silicium <sub>28</sub> .....             |                  | 28,0   |
|                   |        |                              |                                   | Silicium <sub>29</sub> .....             |                  | 29,0   |
|                   |        |                              |                                   | Silicium <sub>30</sub> ?.....            |                  | 30,0?  |
| 15                | P      | Phosphor.....                | 31,04                             | Phosphor.....                            | P                | 31,0   |
| 16                | S      | Schwefel.....                | 32,07                             | Schwefel.....                            | S                | 32,0   |
| 17                | Cl     | Chlor.....                   | 35,46                             | Chlor <sub>35</sub> .....                |                  | 35,0   |
|                   |        |                              |                                   | Chlor <sub>37</sub> .....                |                  | 37,0   |
|                   |        |                              |                                   | Chlor <sub>39</sub> ?.....               |                  | 39,0?  |
| 18                | Ar     | Argon.....                   | 39,9                              | Argon <sub>36</sub> .....                |                  | 36,0   |
|                   |        |                              |                                   | Argon <sub>40</sub> .....                |                  | 40,0   |
| 19                |        | Kalium.....                  | 39,10                             | Kalium <sub>39</sub> <sup>2)</sup> ..... |                  | 39   |
|                   |        |                              |                                   | Kalium <sub>41</sub> .....               |                  | 41   |
| 20                | Ca     | Calcium.....                 | 40,07                             |  |                  |  |
| 21                | Sc     | Scandium.....                | 45,10                             |  |                  |  |
| 22                | Ti     | Titan.....                   | 48,1                              |  |                  |  |
| 23                | V      | Vanadium.....                | 51,0                              |  |                  |  |
| 24                | Cr     | Chrom.....                   | 52,0                              |  |                  |  |
| 25                | Mn     | Mangan.....                  | 54,93                             |  |                  |  |
| 26                | Fe     | Eisen.....                   | 55,84                             |  |                  |  |
| 27                | Co     | Kobalt.....                  | 58,97                             |  |                  |  |
| 28                | Ni     | Nickel.....                  | 58,68                             | Nickel <sub>58</sub> .....               |                  | 58   |
|                   |        |                              |                                   | Nickel <sub>60</sub> .....               |                  | 60   |
| 29                | Cu     | Kupfer.....                  | 63,57                             |  |                  |  |
| 30                | Zn     | Zink.....                    | 65,37                             |  |                  |  |
| 31                | Ga     | Gallium.....                 | 69,9                              |  |                  |  |
| 32                | Ge     | Germanium.....               | 72,5                              |  |                  |  |
| 33                | As     | Arsen.....                   | 74,96                             | Arsen.....                               | As               | 75,0   |
| 34                | Se     | Selen.....                   | 79,2                              |  |                  |  |

<sup>1)</sup> Die Bestimmung der „Einzel-Atomgewichte“ bis zum Quecksilber geschah nach den Methoden der „Kanalstrahlen-Analyse“.

Die kursiv gedruckten Elemente und Atomarten sind radioaktiv; die kursiv gedruckten Atomgewichte sind auf Grund feststehender genetischer Zusammenhänge berechnet, die eingeklammerten kursiven Zahlen sind hypothetisch.

<sup>2)</sup> Es ist nicht entschieden, ob beide oder nur eine der beiden Atomarten des Kaliums radioaktiv sind. Dasselbe gilt für Rubidium.

| Ord-<br>nungs-<br>zahl | Symbol | Bezeichnung<br>des Elementes | „Praktisches<br>Atom-<br>gewicht“ | Bezeichnung<br>der Atomart                 | Atom-<br>zeichen | „Einzel-<br>Atom-<br>gewicht“,<br>soweit<br>bisher fest-<br>gestellt |
|------------------------|--------|------------------------------|-----------------------------------|--|------------------|--|
| 35                     | Br     | Brom .....                   | 79,92                             | Brom <sub>79</sub> .....                   |                  | 79,0   |
|                        |        |                              |                                   | Brom <sub>81</sub> .....                   |                  | 81,0   |
| 36                     | Kr     | Krypton .....                | 82,92                             | Krypton <sub>78</sub> .....                |                  | 78,0   |
|                        |        |                              |                                   | Krypton <sub>80</sub> .....                |                  | 80,0   |
|                        |        |                              |                                   | Krypton <sub>82</sub> .....                |                  | 82,0   |
|                        |        |                              |                                   | Krypton <sub>83</sub> .....                |                  | 83,0   |
|                        |        |                              |                                   | Krypton <sub>84</sub> .....                |                  | 84,0   |
|                        |        |                              |                                   | Krypton <sub>86</sub> .....                |                  | 86,0   |
| 37                     | Rb     | Rubidium .....               | 85,5                              | Rubidium <sub>85</sub> <sup>3)</sup> ..... |                  | 85   |
|                        |        |                              |                                   | Rubidium <sub>87</sub> .....               |                  | 87   |
| 38                     | Sr     | Strontium .....              | 87,6                              |  |                  |  |
| 39                     | Y      | Yttrium .....                | 88,7                              |  |                  |  |
| 40                     | Zr     | Zirkonium .....              | 90,6                              |  |                  |  |
| 41                     | Nb     | Niobium .....                | 93,5                              |  |                  |  |
| 42                     | Mo     | Molybdän .....               | 96,0                              |  |                  |  |
| 43                     | —      | —                            | —                                 |  |                  |  |
| 44                     | Ru     | Ruthenium .....              | 101,7                             |  |                  |  |
| 45                     | Rh     | Rhodium .....                | 102,9                             |  |                  |  |
| 46                     | Pd     | Palladium .....              | 106,7                             |  |                  |  |
| 47                     | Ag     | Silber .....                 | 107,88                            |  |                  |  |
| 48                     | Cd     | Cadmium .....                | 112,4                             |  |                  |  |
| 49                     | In     | Indium .....                 | 114,8                             |  |                  |  |
| 50                     | Sn     | Zinn .....                   | 118,7                             |  |                  |  |
| 51                     | Sb     | Antimon .....                | 120,2                             |  |                  |  |
| 52                     | Te     | Tellur .....                 | 127,5                             |  |                  |  |
| 53                     | J      | Jod .....                    | 126,92                            | Jod .....                                  | J                | 127  |
| 54                     | X      | Xenon .....                  | 130,2                             | Xenon <sub>129</sub> .....                 |                  | 129  |
|                        |        |                              |                                   | Xenon <sub>131</sub> .....                 |                  | 131  |
|                        |        |                              |                                   | Xenon <sub>132</sub> .....                 |                  | 132  |
|                        |        |                              |                                   | Xenon <sub>134</sub> .....                 |                  | 134  |
|                        |        |                              |                                   | Xenon <sub>136</sub> .....                 |                  | 136  |
|                        |        |                              |                                   | Xenon <sub>128</sub> <sup>?</sup> .....    |                  | 128 ?  |
|                        |        |                              |                                   | Xenon <sub>130</sub> <sup>?</sup> .....    |                  | 130 ?  |
| 55                     | Cs     | Cäsium .....                 | 132,8                             |  |                  |  |
| 56                     | Ba     | Barium .....                 | 137,4                             |  |                  |  |
| 57                     | La     | Lanthan .....                | 139,0                             |  |                  |  |
| 58                     | Ce     | Cer .....                    | 140,25                            |  |                  |  |
| 59                     | Pr     | Praseodym .....              | 140,9                             |  |                  |  |
| 60                     | Nd     | Neodym .....                 | 144,3                             |  |                  |  |
| 61                     | —      | —                            | —                                 |  |                  |  |
| 62                     | Sm     | Samarium .....               | 150,4                             |  |                  |  |
| 63                     | Eu     | Europium .....               | 152,0                             |  |                  |  |
| 64                     | Gd     | Gadolinium .....             | 157,3                             |  |                  |  |
| 65                     | Tb     | Terbium .....                | 159,2                             |  |                  |  |
| 66                     | Dy     | Dysprosium .....             | 162,5                             |  |                  |  |
| 67                     | Ho     | Holmium .....                | 163,5                             |  |                  |  |
| 68                     | Er     | Erbium .....                 | 167,7                             |  |                  |  |
| 69                     | Tu     | Thulium .....                | 169,4                             |  |                  |  |
| 70                     | Yb     | Ytterbium .....              | 173,5                             |  |                  |  |
| 71                     | Lu     | Lutetium .....               | 175,0                             |  |                  |  |
| 72                     | —      | —                            | —                                 |  |                  |  |
| 73                     | Ta     | Tantal .....                 | 181,5                             |  |                  |  |

3) Vgl. Anm. beim Kalium.



| Ordnungs-<br>zahl | Symbol | Bezeichnung<br>des Elementes | „Praktisches<br>Atom-<br>gewicht“ | Bezeichnung<br>der Atomart           | Atom-<br>zeichen      | „Einzel-<br>Atom-<br>gewicht“,<br>soweit<br>bisher fest-<br>gestellt |
|-------------------|--------|------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|--|
| 74                | W      | Wolfram .....                | 184,0                             |                                      |                       |  |
| 75                | —      | —                            | —                                 |                                      |                       |  |
| 76                | Os     | Osmium .....                 | 190,9                             |                                      |                       |  |
| 77                | Ir     | Iridium .....                | 193,1                             |                                      |                       |  |
| 78                | Pt     | Platin .....                 | 195,2                             |                                      |                       |  |
| 79                | Au     | Gold .....                   | 197,2                             |                                      |                       |  |
| 80                | Hg     | Quecksilber .....            | 200,6                             | Quecksilber <sub>197-200</sub> ..... |                       | 197—200<br>(noch nicht<br>aufgelöst)                                 |
|                   |        |                              |                                   | Quecksilber <sub>202</sub> .....     |                       | 202  |
|                   |        |                              |                                   | Quecksilber <sub>204</sub> .....     |                       | 204  |
| 81                | Tl     | Thallium .....               | 204,0                             | Aktinium C'' .....                   | Ac''                  | (206)  |
|                   |        |                              |                                   | Thorium C'' .....                    | Th C''                | 208  |
|                   |        |                              |                                   | Radium C'' .....                     | Ra C''                | 210  |
| 82                | Pb     | Blei .....                   | 207,2                             | Radium G (Uranblei) ...              | Ra G                  | 206  |
|                   |        |                              |                                   | Aktinium D .....                     |                       | (206)  |
|                   |        |                              |                                   | Thorium D (Thorblei) ..              | Th D                  | 204  |
|                   |        |                              |                                   | Radium D .....                       | Ra D                  | 210  |
|                   |        |                              |                                   | Aktinium B .....                     | Ac B                  | (210)  |
|                   |        |                              |                                   | Thorium B .....                      | Th B                  | 212  |
|                   |        |                              |                                   | Radium B .....                       | Ra B                  | 214  |
| 83                | Bi     | Wismut .....                 | 209,0                             | Radium E .....                       | Ra E                  | 210  |
|                   |        |                              |                                   | Aktinium C .....                     | Ac C                  | (210)  |
|                   |        |                              |                                   | Thorium C .....                      | Th C                  | 212  |
|                   |        |                              |                                   | Radium C .....                       | Ra C                  | 214  |
| 84                | Po     | Polonium .....               |                                   | Polonium (Radium F) ..               | Po (Ra F)             | 210  |
|                   |        |                              |                                   | Aktinium C' .....                    | Ac C'                 | (210)  |
|                   |        |                              |                                   | Thorium C' .....                     | Th C'                 | 212  |
|                   |        |                              |                                   | Radium C' .....                      | Ra C'                 | 214  |
|                   |        |                              |                                   | Aktinium A .....                     | Ac A                  | (214)  |
|                   |        |                              |                                   | Thorium A .....                      | Th A                  | 216  |
|                   |        |                              |                                   | Radium A .....                       | Ra A                  | 218  |
| 85                | —      | —                            | —                                 |                                      |                       |  |
| 86                | Em     | Emanation .....              | 222                               | Aktinium-Emanation ...               | Ac Em                 | (218)  |
|                   |        |                              |                                   | Thorium-Emanation ...                | Th Em                 | 220  |
|                   |        |                              |                                   | Radium-Emanation ...                 | Ra Em                 | 222 <sup>4)</sup>  |
| 87                | —      | —                            | —                                 |                                      |                       |  |
| 88                | Ra     | Radium .....                 | 226,0                             | Aktinium X .....                     | Ac X                  | (222)  |
|                   |        |                              |                                   | Thorium X .....                      | Th X                  | 224  |
|                   |        |                              |                                   | Radium .....                         | Ra                    | 226,0  |
|                   |        |                              |                                   | Mesothorium 1 .....                  | Ms Th <sub>1</sub>    | 228  |
| 89                | Ac     | Aktinium .....               |                                   | Aktinium .....                       | Ac                    | (226)  |
|                   |        |                              |                                   | Mesothorium 2 .....                  | Ms Th <sub>2</sub>    | 228  |
| 90                | Th     | Thorium .....                | 232,1                             | Radioaktinium .....                  | Ra Ac                 | (226)  |
|                   |        |                              |                                   | Radiothorium .....                   | Ra Th                 | 228  |
|                   |        |                              |                                   | Ionium .....                         | Io                    | 230 <sup>5)</sup>  |
|                   |        |                              |                                   | Uran Y .....                         | U Y                   | (230)  |
|                   |        |                              |                                   | Uran X <sub>1</sub> .....            | U X <sub>1</sub>      | 234  |
| 91                | Pa     | Protaktinium .....           |                                   | Protaktinium .....                   | Pa                    | (230)  |
|                   |        |                              |                                   | Uran X <sub>2</sub> (Brevium) ...    | U X <sub>2</sub> (Bv) | 234  |
| 92                | U      | Uran .....                   | 238,2                             | Uran II .....                        | U II                  | 234  |
|                   |        |                              |                                   | Uran I .....                         | U I                   | 238  |

<sup>4)</sup> Der Wert wurde durch direkte Dichte-Bestimmung innerhalb der Versuchsfehler bestätigt.<sup>5)</sup> Der Wert wurde durch experimentelle Atomgewichts-Bestimmung eines Ionium-Thorium-Gemisches gestützt.

Interesse, weil die Abweichungen des experimentell gefundenen Wertes von diesem theoretischen Wert einen Rückschluß ziehen lassen auf das Atomgewicht des sog. Aktiniumbleis, des inaktiven Endproduktes der Aktiniumreihe. Aus dem Atomgewicht des Aktiniumbleis könnte man das Atomgewicht des Aktiniums berechnen, über dessen Größe heute die Meinungen noch auseinandergehen.

Daß überhaupt die „praktischen Atomgewichte“ der aus Isotopen Atomarten bestehenden gewöhnlichen Elemente nach wie vor den Wert von Naturkonstanten besitzen, weil diese Gemische augenscheinlich seit der Stabilisierung der festen Erdkruste an allen Orten die gleichen sind, darauf hat bereits Herr R. J. Meyer in seiner eingangs erwähnten Arbeit hingewiesen, so daß sich hier ein weiteres Eingehen darauf erübrigt.

Man sieht aus all diesen Beispielen, daß durch die Auffindung der Isotopie bei vielen chemischen Elementen das praktische Atomgewicht seine große Bedeutung noch durchaus nicht eingebüßt hat. Umgekehrt wird man gerade durch äußerst präzise durchgeführte Atomgewichtsbestimmungen unter Umständen einen Rückschluß auf den inneren Atombau machen können, von dessen genauer Erkenntnis wir heute noch sehr weit entfernt sind.

Zum Schluß sei hier die Tabelle II der Deutschen Atomgewichtskommission für das Jahr 1921, wie sie in den Berichten der Deutschen Chemischen Gesellschaft 54 A, 181—188, 1921, veröffentlicht worden ist, wiedergegeben.

Es ist bei dieser Tabelle leicht einzusehen, daß ihre Angaben noch nicht ganz den hohen Grad von Sicherheit und Genauigkeit haben können, die die Tabelle der praktischen Atomgewichte auszeichnet. Die letztere ist das festgefügte, auf sichersten Grundlagen aufgebaute Ergebnis häufig kontrollierter Experimente, bei dem man sich im Interesse des praktisch arbeitenden Chemikers zu Änderungen nur bei zwingenden Gründen entschließen wird. Die Tabelle II dagegen soll uns ein Bild von dem jeweiligen Stande der noch in voller Entwicklung befindlichen Atom- und Isotopenlehre geben. Entsprechend dieser Aufgabe beabsichtigt die Deutsche Atomgewichtskommission, die Tabelle II jedes Jahr auf den letzten Stand der Forschung zu bringen und zu veröffentlichen.

## Die Palimpsestphotographie.

Von G. R. Kögel, Karlsruhe.

Was sind Palimpseste? Handschriften des Altertums und des Mittelalters, deren Text man ausradiert hatte, um das Pergament zu neuer Niederschrift, zur Herstellung neuer Bücher benutzen zu können. Schon Cicero berichtet davon. Der Empfänger eines Briefes löschte nach Kenntnisnahme des Inhaltes den Text, um auf dem

gleichen „Briefbogen“ sofort die Antwort dem Boten übergeben zu können. Aber nicht einzelne Blätter sind es, die der Palimpsestphotographie die große Bedeutung verleihen, sondern ganze Bände reskribierter Codices, die in einzelnen Bibliotheken in großer Anzahl vorliegen. So besitzt die Nationalbibliothek in Wien gegen 200 Bände, deren Inhalt meist noch unbekannt ist. Gerade die radierten Texte, die unter dem oberen, bereits bekannten verborgen liegen, sind die letzt erreichbaren Quellen der antiken Forschung. Eine Bereicherung an klassischen Stücken können wir außer durch „archäologische Ausgrabungen“ nur mehr durch die Palimpseste erhoffen.

Die Beweggründe der Textscheuerung waren verschieden. Das Pergament war stets ein sehr teures Schreibmaterial. Die beständigen Kriege der vergangenen Jahrhunderte mit ihren schweren wirtschaftlichen Nöten machten die in Europa erst wieder durch den letzten Krieg bekanntgewordene Papiernot geradezu chronisch. War von einer Handschrift ein Duplikat vorhanden, das vielleicht weniger schön ausgestattet war, war der Text infolge neuer Verhältnisse scheinbar wertlos geworden (Juridica, offizielle Bibeltexte u. a.), erheischten politische Neugestaltungen eine neue, andere „Geschichte“, verlangten wirtschaftliche Umwälzungen eine Umgestaltung der Besitztitel, so wurde die schriftliche Vergangenheit getilgt und durch Neues ersetzt.

Unvermutet hat sich aber neben das Problem der antiken Palimpsestforschung ein ganz modernes gestellt. Es gibt auch Palimpseste der Neuzeit. Der Staatsanwalt aber ist es, der diesen Dokumenten seine sorgsame Aufmerksamkeit zuwendet. Gefälschte Schriftstücke des Privatlebens, des Handels und Verkehrs, wie Rechnungen usw., sind zum neuen Gegenstand der Palimpsestphotographie geworden. Wenn daher das letzte Blatt der antiken Palimpseste bereits entziffert ist, wird das Verfahren seine immerwährenden Dienste der Gerechtigkeit leisten. Dadurch überholt es die Vergangenheit und greift in die Zukunft ein.

Das Grundprinzip der früher angewandten Verfahren beruht, wie überhaupt das der gewöhnlichen Photographie, auf der Erzeugung eines Bildnegatives durch die vom Planum reflektierten Beleuchtungsstrahlen, wobei der radierte Schriftkörper infolge Absorption der Beleuchtungsstrahlen dunkel bleibt. Wesentlich war nicht nur eine möglichst kräftige Beleuchtung, um Maximalkontraste herzustellen, sondern auch eine für den Einzelfall richtige Auswahl von Lichtfiltern. Dieses mußte in seiner Farbe so gewählt werden, daß es die Strahlen absorbierte, die die Eigenfarbe der radierten Schrift darstellten.

Unsichtbares im strengen Sinne des Wortes kann durch sichtbare Strahlen direkt nie sichtbar gemacht werden. Wenn der Laie gelegentlich auf forensischen Photographien „Unsichtbares“ zu Augen bekam, so war es nur „Undeutliches“. So



beurteilte es auch der Fachmann. Gerade das Versagen der bisherigen Technik in vielen Fällen der gerichtlichen Praxis stellte das Problem, Dinge sichtbar zu machen, die tatsächlich schon auf Grund theoretischer physikalischer Erkenntnis für das menschliche Auge und für die photographische Platte unsichtbar sein mußten. So sind Weiß in Weiß, Gelb in Gelb usw., gerade unter der strengen Voraussetzung, daß beide Farbenpaare die physiologische und photochemische Differenzierungsmöglichkeit nicht erreichen, auf dem Wege der optischen Reflexkontraste nicht zu trennen. Körper, deren reflektographische Strahlendifferenzierungen aber einen darstellbaren Schwellenwert nicht erreichen, können chemisch dennoch ganz verschieden sein. Man denke nur an die Unzahl weißer, farbloser Verbindungen.

Wie können nun Körper ohne differenzierte Eigenfarben optisch unterschieden werden? Allgemein dadurch, daß man den einen Teil zum Selbstleuchten anregt, den anderen inaktiv läßt. Mit welchen Hilfsmitteln dies erreicht wird, ist an sich gleichgültig und hängt nur von dem jeweiligen Stande der Technik und der Wirtschaftlichkeit ab.

Bevor wir nun zur Darlegung dieser einzelnen technischen Hilfsmittel kommen, soll die Übertragung der differenzierten Strahlenerregung speziell auf die Palimpseste im allgemeinen gegeben werden.

Das Pergament besteht vorwiegend aus organischen Substanzen, sowohl der aromatischen als der aliphatischen Reihe. Durch ultraviolette Strahlen angeregt, fluoreszieren sie. An den Textstellen wurde das Pergament aber zum Teil physikalisch, zum Teil chemisch verändert. Physikalisch infolge Gerbwirkung durch Gerbstoffe, die zur Herstellung der Tinte seinerzeit und heute noch dienen, ferner durch Eisenverbindungen, von denen manche Kolloide fallen. In den radierten Pergamentstellen liegen aber oft noch Reste der Tintenverbindungen als solche vor, wenn auch in unsichtbar geringen Mengen. Diese Eisenverbindungen leuchten unter dem Einfluß der ultravioletten Strahlen nicht. Das Pergament hat an den gleichen Schriftstellen überdies infolge der Gerbung das Lumineszenzvermögen verloren. Die Schriftstellen müssen daher dunkel bleiben, wenn auch ihre gesamte Umgebung, das Pergament, leuchtet. Das so entstandene Gesamtfluoreszenzbild verlangt, um ausschließlich zur photographischen Volldarstellung zu gelangen, den Ausschluß des Tageslichtes. Als „sichtbares“ Licht würde es das Fluoreszenzbild optisch vollständig überstrahlen. Die Durchführung des Verfahrens verlangt also vollkommene Dunkelheit. Die photographische Platte mit Kamera und Objektiv nimmt dann ausschließlich das Fluoreszenzbild auf.

Wie schon erwähnt, bestimmt der jeweilige Stand der Technik, aber auch die Natur des

Gegenstandes die in Einzelfällen anzuwendenden Hilfsmittel. Darüber wurde in der Schrift „Die Palimpsestphotographie“ (Verlag von W. Knapp, Halle a. Saale) berichtet. Nachdem nun die Grundlagen des Verfahrens im allgemeinen dargelegt worden sind, soll der Leser mit einem neuen Fortschritt auf diesem Gebiete bekannt werden, mit der neuen Schnellpalimpsestphotographie. Sie wurde in Anforderung der höchsten Zeitersparnis für wissenschaftliche Expeditionen geschaffen.

#### *Die Lichtquellen<sup>1)</sup>.*

Als Lichtquelle dient die Quecksilberdampflampe. Diese Lampe zündet entweder durch Hand- oder automatische Kippung. Ein Nachregulieren ist nicht erforderlich. Man kann also dauernd arbeiten, ohne sich um die Bedienung der Lichtquelle kümmern zu müssen. Der Brenner der Lampe wird in ein Gehäuse eingeschlossen, das eine runde Öffnung hat, durch die die Strahlen mittels eines eingefügten Kollektors nach außen gelangen. Die Linse des Kollektors muß aus Quarz sein, das die ultravioletten Strahlen, die vom Glas bereits absorbiert würden, ungeschwächt durchläßt. Die Brennweite des Kollektors beträgt ca. 4 cm Durchmesser, dessen Öffnung 5 cm. Der Kollektor wird möglichst nahe an den Brenner gebracht, damit die Ausnutzung des horizontalen gestreckten Lichtbündels der Quarzlampe möglichst groß wird. Der Abstand soll ungefähr 2—4 cm sein.

Quecksilberdampflampen wurden bis vor einiger Zeit nur für Gleichstrom hergestellt, können nun aber auch zum Anschluß an Wechselstrom von der Quarzlampengesellschaft Hanau a. M. bezogen werden. Jede Stromart, jede Voltspannung verlangt jedoch einen verschiedenen Brenner. Für stationäre Anlagen bedeutet dies keinen besonderen Nachteil. Für wissenschaftliche Expeditionen aber, auf denen man stets wechselnden Stromverhältnissen begegnet, müßte eine Anzahl verschiedener Brenner mitgeführt werden. Die Bruchgefahr, die durch die Sprödigkeit der Quarzröhren mit ihren inneren Spannungen bedingt ist, verbietet dies jedoch. Man rüstet sich daher mit einer halbautomatisch regulierenden Bogenlampe aus. Mit einem variablen Widerstand kann die Lampe dann an jede Netzspannung angeschlossen werden. Um dem Bogenlicht eine möglichst starke Ultraviolettstrahlung zu verleihen, benutzt man an Stelle der gewöhnlichen Kohlenstifte solche mit Eisen- oder Nickelfüllung.

#### *Das U. V.-Transfilter.*

Da das Original mit ausschließlich ultravioletten Strahlen zu beleuchten ist, so muß alles sichtbare Licht aus den Beleuchtungsstrahlen ausgeschieden werden. Dies geschieht mit dem U. V.-Transfilter, das die sichtbaren Strahlen absorbiert, die ultravioletten durchläßt. Es besteht aus einer Doppel- oder einfachen Küvette, die die Form eines Glasrohres von 5 cm Durchmesser und 7 cm Länge besitzt. Dieser Tubus ist an beiden Enden mit Quarzplatten abgeschlossen. Durch Öffnungen an der Oberseite wird diese Küvette mit einer verdünnten Lösung von p-Nitrosodimethylanilin gefüllt. Das große Ausmaß der Küvette garantiert, daß die Lösung unter dem Einfluß der Strahlen nicht zu warm wird und zu schnell verdunstet, wie

<sup>1)</sup> Sämtliche Apparate lieferbar durch Firma C. Zeiß-Jena.



dies bei der für die gleichen Zwecke von mir früher vorgeschlagenen Blauviolettglasküvette eintreten kann. Dieses Filter läßt nur gelbe und etwas rote Strahlen durch. Die letzteren stören nicht, können aber auch ausgeschieden werden, wenn man den einen Teil der Doppelküvette mit einer konzentrierten Kupfersulfatlösung anstatt mit Nitrosodimethylanilin füllen würde. Die gelben Strahlen müssen aber noch ausgeschaltet werden. Dies wird durch eine Scheibe aus Blauviolett-

Ganzdunkel infolge der vorwiegenden Fluoreszenz verschwindet.

Das von dem Lichtfilter freigegebene Ultraviolett muß durch einen Kondensor aus Quarz auf das Original gleichmäßig verteilt werden. Die Brennweite der Kondensorquarzlinse soll 20–30 cm betragen. Durch Verschieben des Kondensors kann man die von demselben gelieferte Lichtscheibe ohne Schwierigkeit auf die Größe des Originals bringen.

Fig. 1. Naturgetreue Photographie des Codex Sangallensis 193. Die vertikale, dunkle Schrift ist die Sekundärschrift, die horizontale, radierte Schrift ist nicht lesbar.

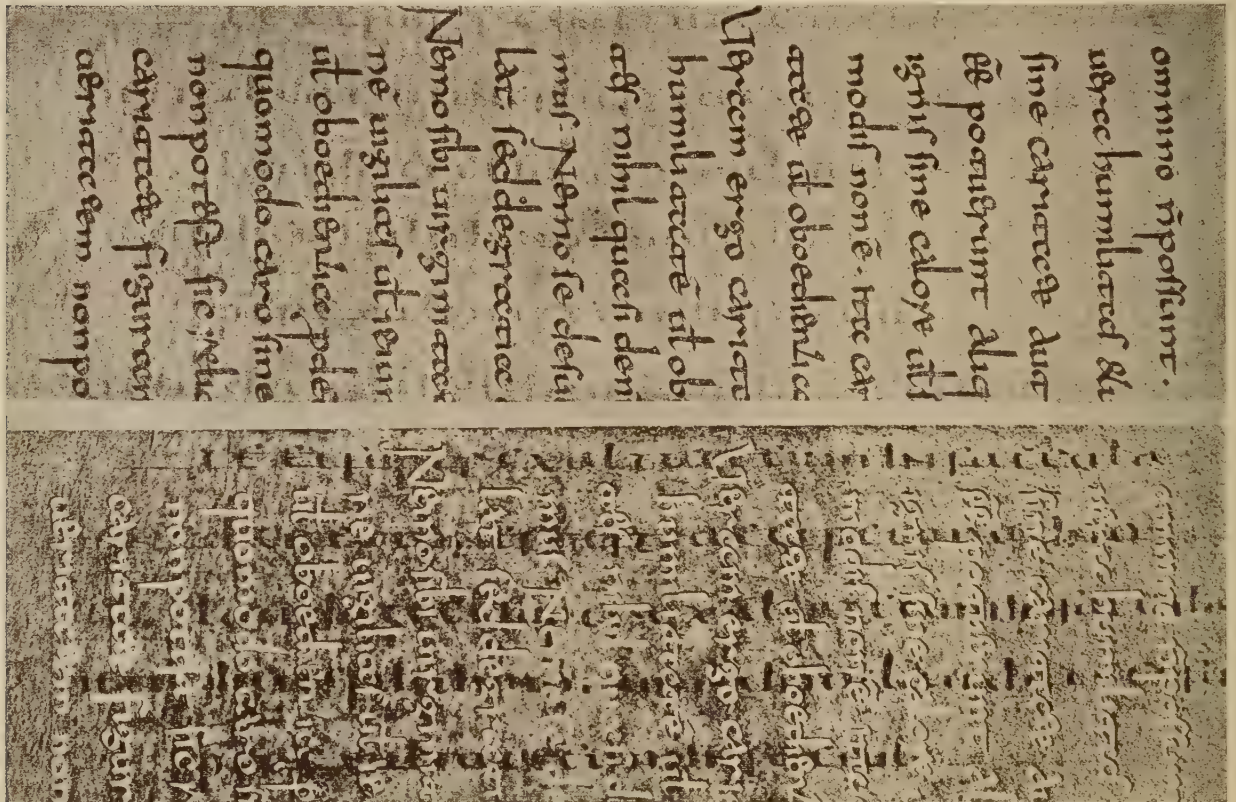


Fig. 2. Fluoreszenzpalimpsestphotographie mit Abdeckungsverfahren f. d. Sekundärschrift, die hell erscheint. Die radierte, horizontale Schrift tritt vollständig hervor.

glas bewirkt, die man der Küvette an deren Ende vorsetzt, das von dem Licht am weitesten entfernt ist. Dadurch wird das etwas empfindliche Glas durch die Strahlung nicht mehr getrübt oder aufgeraut, wie dies der Fall ist, wenn die Küvette selbst aus diesem Glas besteht.

Die Nitrosodimethylanilinlösung stellt man sich auf folgende Weise her. In 100 ccm Alkohol löst man 0,1 g und verdünnt 2 ccm davon mit 800 ccm Wasser. Diese Konzentration ist aber immerhin nicht für alle Fälle die beste. Denn für Schnellarbeit soll je nach der Stärke der benutzten Lichtquelle die gerade zulässige Verdünnung angewandt werden. Man kann dabei nach folgender Regel verfahren. Die Lösung wird auf die Verdünnung gebracht, daß im Halbdunkel das Original einen violetten Schimmer zeigt, der bei

#### U. V.-Absorptionsfilter.

Von den auf das Original auffallenden ultravioletten Strahlen wird nur ein Teil in Fluoreszenzstrahlung umgewandelt, der andere Teil reflektiert. Er würde durch das Objektiv in die Kamera und auf die photographische Platte gelangen. Infolge chromatischer Aberration und Überwirkung gegenüber dem schwächeren Fluoreszenzbild würde die Platte verschleiert werden. Die ultravioletten Strahlen müssen daher auf ihrem Weg zum Original abgefangen, die Fluoreszenzstrahlung aber nicht behindert werden. Es bereitete ziemlich große Schwierigkeiten, ein solches Filter ausfindig zu machen. Endlich wurde es in dem Triphenylmethan gefunden. Man stellt eine Lösung von 0,7 g Triphenylmethan in 70 ccm Alkohol her und füllt



eine Glasküvette von 3–4 mm Innenweite. Diese Filter bringt man unmittelbar vor dem Objektiv an. Die wasserklare Flüssigkeit läßt die Fluoreszenzstrahlung frei durch, absorbiert aber das reflektierte Ultraviolett vollständig.

#### *Lichtempfindliche Platten und Expositionszeit.*

Bei der intensiven Fluoreszenzstrahlung, die durch diese Anordnung erzielt wird, nimmt eine hochempfindliche Platte (Elurultrapid, Sonja-Ultra) das Bild je nach der Größe des Originals bereits in 3–5 Minuten. Dabei ist ein lichtstarker Anastigmat von  $f:4,5$  zu verwenden. Eine photomechanische Platte, die um ein Vielfaches weniger empfindlich ist, das Bild aber in unvergleichlich größeren Kontrasten liefert, erfordert 3–5 Stunden. Auf diese Weise sind bei der hochempfindlichen Platte und relativ auch bei der photomechanischen frühere Stunden zu Minuten geworden.

#### *Helligkeitsumstellung der Sekundärschrift.*

In der oben angegebenen Schrift habe ich folgendes Verfahren als das geeignetste bezeichnet, das die zweite Schrift auf den Tonwert des Planums umstellt, ohne die Schärfe der Primärschrift zu beeinträchtigen. Man macht von dem Original das Fluoreszenznegativ und davon die Papierkopie I. Mittels einer orthochromatischen Platte gewinnt man das Negativ mit ausschließlich Sekundärschrift und stellt davon eine Kopie auf einem Transparentfilm her. Dieser wird mit Quecksilberchlorid gebleicht. II wird auf I zur kongruenten Deckung gebracht und dient als Schlußvorlage.

Die Durchführung dieses Verfahrens war seit 1915 unmöglich geworden, weil die Industrie keine solche Transparentfolien mehr herstellt, zuerst wegen Mangels an Material, jetzt wegen der nicht zu leistenden Preise. Nachdem es nun F. Limmer<sup>1)</sup> seit kurzem gelang, mittels Ammonium bifluoratum auf eine sehr einfache Weise von Platten die Schicht in Form eines Films herabzuziehen, kann eine Diapositivplatte den Transparentfilm ersetzen. Die Schärfe im Bild nimmt damit noch zu, da die Negativschicht dünner ist als der dünne Film.

### Besprechungen<sup>2)</sup>.

**Chwolson, O. D., Lehrbuch der Physik.** Zweite verbesserte und vermehrte Auflage. Zweiter Band, zweite Abteilung: Die Lehre von der strahlenden Energie. Herausgegeben von Gerhard Schmidt. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, 1922. XV, 894 S. und 498 Abbild.  $14\frac{1}{2} \times 22\frac{1}{2}$  cm. Preis geh. M. 80,—; geb. M. 100,—.

Dem Herausgeber ist es gelungen, den Band so umzuarbeiten und zu ergänzen, daß man sagen kann, er werde den modernen Forderungen in der Hauptsache gerecht. Das Buch enthält alles Wissenswerte aus dem modernen physikalischen Gebiet der Strahlung und wind, vereint mit dem Band V, der eine zusammenhängende Darstellung der Quantentheorie bringt, nicht nur unserer studierenden Jugend ein willkommener Führer auf dem noch neuen Gebiete sein, sondern auch für alle die von großem Nutzen sein, die sich fortbilden wollen und müssen. Ich denke dabei an die in der In-

dustrie beschäftigten Wissenschaftler, die auf eng begrenzten Spezialgebieten tätig sind, und an die Lehrer an den höheren Schulen. Für beide wird ein Lehrbuch willkommen sein, das auf die Darstellung schwieriger mathematischer Theorien verzichtet und sich darauf beschränkt, über die modernen Forschungsergebnisse in leicht verständlicher Form zu berichten.

Es ist leichter, Kritik an einem Buche zu üben, als ein Buch herauszugeben; es ist auch leichter, ein Buch neu zu schreiben, als ein altes Buch unter möglicher Schonung der bestehenden Anlage und unter größtmöglichen Sparsamkeitsrückichten modernen Forderungen anzupassen. Zu diesen Schwierigkeiten kommt noch eine weitere hinzu. Wir stehen auf dem Gebiete der Physik noch mitten in einer Revolution, Neues und Altes gehen noch nebeneinander her und verhindern eine einheitliche Stilbildung. Wenn ich daher im folgenden manches aussetzen habe, so bin ich mir bewußt, daß wahrscheinlich auch der Herausgeber in mancher Hinsicht noch weitere Verbesserungen vorgenommen hätte, wenn ihn die eben genannten Gründe nicht daran verhindert hätten. Ich hoffe auch, daß meine nachfolgende Kritik nicht als Tadel aufgefaßt wird, sondern vielmehr als Interesse und Mithilfe, ein recht gutes und nützliches Werk noch weiter zu vervollkommen.

Die meisten Lehrbücher der Physik betonen meines Erachtens zu wenig die Bedeutung der Forschungsergebnisse für die Praxis. Das Interesse an einer Sache wird doch erst lebhaft, wenn man auch weiß, wozu das alles nützt. „Wozu?“ fragt in erster Linie der Schüler. In der Mechanik und Elektrizitätslehre liegen die Dinge anders, dort besitzt schon jeder reichlich viel praktische Erfahrung, so daß er die Frage, „wozu“ gar nicht erst zu stellen braucht. So günstig steht es aber bei der Optik nicht, und wenn man hier die praktische Bedeutung der einzelnen Forschungszweige so gut wie nicht erwähnt, so muß dem mit der Optik weniger vertrauten Physiker der Stoff äußerst trocken und langweilig vorkommen. Es sei nur ein Beispiel genannt. Wozu Newtonsche Farbenringe, welche Bedeutung kommt ihnen in der Optotechnik zu? In dieser Hinsicht könnte auch der zu besprechende Band noch einige Verbesserungen erfahren, und vielleicht kann dies ohne wesentliche Vermehrung des Bandes geschehen, wenn der Herausgeber noch etwas weiter geht mit der Streichung von Methoden, die nur noch historischen Wert besitzen, oder wenn die Paragraphen aus der kosmischen Physik stark gekürzt werden. Hierüber gibt es heute genügend gute und leichtverständliche Spezialwerke.

Nach diesen mehr allgemeinen Bemerkungen sollen die einzelnen Kapitel des Bandes besprochen werden.

Das erste Kapitel bringt als Einleitung alles das, was zu dem modernen Begriff der strahlenden Energie führt, und muß sowohl in bezug auf Auswahl des Stoffes und Anordnung als mustergültig bezeichnet werden. In der Terminologie hätte man vielleicht gegen den Ausdruck „Wärmestrahlen“ nicht so hart vorgehen sollen und ihn für die dunklen oder unsichtbaren infraroten Strahlen beibehalten können. Die Gefahr einer bedenklichen Begriffsverwirrung würde dadurch wohl kaum heraufbeschoren. Neu in diesem Kapitel sind die beiden Paragraphen 2 und 3 über die Lichtquanten und über das Elektron. Auch in allen übrigen Abschnitten dieses Kapitels wird über die modernen Forschungsergebnisse ausreichend Bericht erstattet.

<sup>1)</sup> Photogr. Mitt. 1922, S. 160.

<sup>2)</sup> Die Preise der Bücher sind ohne die Teuerungszuschläge eingesetzt.



Nicht minder gut ist das zweite Kapitel bearbeitet, das vom Übergang von Wärmeenergie in strahlende Energie handelt. Es enthält eine sehr gute, verständliche und ausführliche Besprechung des Kirchhoffschen Gesetzes über den Zusammenhang zwischen Emissions- und Absorptionsvermögen der Körper. Anschließend hieran werden die modernen Strahlungsgesetze aufgeführt und besprochen. Neu sind hier hauptsächlich die Berichte über die experimentellen Arbeiten zur Bestätigung der Strahlungsgesetze und ein Abschnitt über die Strahlung nicht schwarzer Körper. Auf einige für den Praktiker wichtige und für den Theoretiker interessante Arbeiten hätte noch hingewiesen werden sollen. Z. B. O. Lummer, Grundlagen, Ziele und Grenzen der Leuchttechnik (Auge und Lichterzeugung), München und Berlin 1918; das Buch ist nicht sehr bekannt. Dann Coblentz, Present status of the constants and verification of the laws of thermal radiation of a uniformly heated inclosure, Bur. Stand. Nr. 406, 20. Dezember 1920.

Das dritte Kapitel, das die Überschrift: „Ausbreitungsgeschwindigkeit der strahlenden Energie“ trägt, ist mit Rücksicht auf Band V, in dem die Relativitätstheorie ausführlich besprochen wird, knapp gehalten. Auf die wichtigen experimentellen Arbeiten von Sagnac, Harreß und die theoretischen Arbeiten von Laue und Einstein über den Einfluß einer Bewegung des Mediums auf die Ausbreitung der strahlenden Energie in demselben ist hingewiesen worden.

Das vierte Kapitel bringt die Reflexion der strahlenden Energie. Bei der Besprechung der aberrationsfreien Flächen hätte der Hinweis nicht schaden können, daß man mit den Parabolspiegeln (Rotationsparaboloid) kein streng paralleles Licht erzeugen kann, da es Lichtpunkte in der Physik eben nicht gibt. Energie strahlt nur durch eine endliche Fläche, nie durch einen Punkt. Aus einem Buche, das den Titel „Die Lehre von der strahlenden Energie“ trägt, muß auch der Lichtpunkt verschwinden. Neuerungen finden sich hauptsächlich im § 8, der von den experimentellen Untersuchungen über die Menge der reflektierten strahlenden Energie handelt. Über die neueren Arbeiten von Rubens über Reststrahlen und über die Prüfung der Maxwellschen Formel  $n = \sqrt{K}$  wird Bericht erstattet.

Im fünften Kapitel wird die Brechung der strahlenden Energie besprochen. Es hätte hier, wie auch im vorhergehenden Kapitel, die Bezeichnung der Winkel mehr der allgemein üblichen angepaßt werden sollen. Das Brechungsgesetz erscheint doch wohl häufiger in der Form  $n \sin i = n' \sin i'$ . Die moderne Brillenoptik mit ihrer Dioptrienrechnung hätte eine Erwähnung verdient. Auch auf die Arbeiten von v. Rohr hätte hingewiesen werden sollen, das ist auch in den Kapiteln 10 und 11 versäumt worden. Unter Fokometrie wird die Methode der Autokollimation besprochen und die Hartmannmethode erwähnt.

Das sechste Kapitel handelt vom Brechungsquotienten. Bei der Besprechung der Refraktometer hätte das Pulfrichsche Eintauchrefraktometer aufgeführt werden können, ein für den praktischen Chemiker unentbehrliches Hilfsmittel.

Eine sehr ausführliche und gründliche Durcharbeitung hat das siebente Kapitel erfahren, das von der Dispersion der strahlenden Energie handelt. Neues bringt das Kapitel über die Farbenlehre, W. Ostwalds Theorie wird besprochen, sodann über die Dispersion

in Gasen, über Struktur und Breite der Spektrallinien und über die Gesetzmäßigkeiten in der Verteilung der Spektrallinien. Auf Seite 248 Mitte ist der Satz nach dem Doppelpunkt nicht ganz vollständig oder die Worte „für die violetten“ müssen fortfallen. Die alte Auflage enthält schon das Versehen.

Das achte Kapitel handelt von der Umwandlung der strahlenden Energie und enthält alles für den Physiker Wissenswerte über die beiden Fälle, in denen strahlende Energie in solche von anderer Periode und in chemische Energie umgewandelt wird.

Im neunten Kapitel hätte auf § 8 des ersten Kapitels Bezug genommen werden müssen, denn hier handelt es sich nicht nur um Methoden zum bloßen Nachweis der strahlenden Energie, sondern auch um rein physikalische objektive Methoden zum Messen der strahlenden Energie. Andernfalls müßte die Überschrift geändert werden, wenn etwa hier die nur mehr physiologischen, subjektiven Methoden behandelt werden sollten, denn diese beschränken sich doch nur auf die Lichtstrahlen. Das Wort gesehene Helligkeit zum Unterschied von Flächenhelligkeit oder Helligkeit schlechthin sollte besser durch Sichtbarkeit ersetzt werden. Daß Pulfrich auf dem Physikertag 1921 in Jena über sein neues Stereophotometer bereits vorgetragen hat, ist dem Herausgeber wohl nicht bekannt gewesen. Danach ist man jetzt auch in der Lage, die Sichtbarkeiten ungleicher Farben miteinander zu vergleichen. Neues bringt das Kapitel über die lichtelektrischen Photometer.

Das zehnte Kapitel über optische Instrumente hätte wohl besser neu in Anlehnung an das knappe und gute Büchlein von v. Rohr, Die optischen Instrumente, Aus Natur und Geisteswelt, bearbeitet werden sollen; zum mindesten hätte dieses wertvolle Büchlein eine Erwähnung verdient. Vieles fehlt in diesem Kapitel und manches wäre entbehrlich gewesen, z. B. die meisten der Figuren von 266 bis 276.

Die binokularen Instrumente, über die auch von v. Rohr eine ausführliche Bearbeitung vorliegt, sind im elften Kapitel kurz besprochen, das einiges aus der physiologischen Optik bringt. Hier werden auch Gullstrand und v. Rohr erwähnt. Ihre Bedeutung für die Optik beschränkt sich aber nicht lediglich auf die Konstruktion der Punktagläser. Es muß übrigens S. 541 Zeile 11 A. Gullstrand, nicht H. G. heißen.

Das zwölfte Kapitel behandelt die optischen Erscheinungen in der Atmosphäre; der letzte Paragraph handelt von der Färbung und Beleuchtung des Himmels und bringt die Theorie von Lord Rayleigh. Die Literaturangaben sind hier sehr reichhaltig.

In den letzten Kapiteln werden die Interferenz, Beugung und Polarisation des Lichtes wie üblich behandelt. Wesentlich Neues im Vergleich zur alten Auflage ist hier nicht hinzugekommen.

Ein sehr ausführliches Namen- und Sachregister befindet sich am Schlusse des Bandes.

Nach der Vorrede zur ersten deutschen Ausgabe wurde absichtlich auf eine eingehendere Behandlung der geometrischen Optik und der optischen Instrumente kein besonderer Wert gelegt. Man muß daher bei einer gerechten Würdigung des Buches dies in Betracht ziehen und von den wenigen Kapiteln absehen, die von „Optotechnik“ handeln. Der Band „Die Lehre von der strahlenden Energie“ verdient den Physikern bestens empfohlen zu werden, allein schon die in ihm enthaltenen reichhaltigen Literaturangaben sind für jeden, der sich für dieses physikalische Gebiet interessiert, äußerst wertvoll.

A. Sonnfeld, Jena.



**Mie, Gustav, Die Einsteinsche Gravitationstheorie.**

Versuch einer allgemein verständlichen Darstellung der Theorie. Leipzig, S. Hirzel, 1921. IV, 67 S. und 5 Abbild. Preis M. 7,—.

Im Vorwort dieser kleinen Schrift heißt es: „Der Verfasser hat über die prinzipielle Bedeutung der Einsteinschen Gravitationstheorie eine andere Auffassung als die meistens vorgetragene.“ Dies erweckt die Erwartung, hier einmal etwas Neues zu finden, während die bisherigen vielen Darstellungen der Theorie sich meist auf die mehr oder minder genaue Wiedergabe der Originalarbeiten beschränken. In dieser Erwartung wird man nicht enttäuscht. Wer *Mies* tiefsinnige Theorie der Materie aus den Jahren 1912/13 kennt, wird auch sogleich richtig vermuten, in welcher Richtung sich diese neue Auffassung bewegt. Im Nachfolgenden seien die charakteristischen Punkte derselben hervorgehoben, unter Beiseitelassung des Übrigen, das von dem landläufigen Schema gemeinverständlicher, d. i. mathematikfreier Darstellung der Theorie wenig abweicht:

*Mie* wendet sich gegen die bei den meisten Physikern seit *Newton* festgewurzelte Anschauung, daß „die Materie aus lauter scharf begrenzten Einzelteilen bestehe, die durch leere Zwischenräume voneinandergetrennt sind“. „Leer“ ist hierbei im Sinn von „physikalisch nicht existierend“ verstanden. Diese Anschauung („extreme Atomtheorie“) führt auf unvermittelte Fernwirkung und wird durch die Wellenlehre des Lichtes widerlegt, die zeigt, daß im leeren Raum physikalische Vorgänge (Lichtwellen, Felder) möglich sind. „Leer“ soll denn auch nach *Mie* nur im Sinne von „gleichförmig“ oder „homogen“ verstanden werden: Die Atome der Materie sind nichts weiter als kontrastreiche Inhomogenitäten inmitten des übrigen Raumes. Dieser heiße, sofern er Träger physikalischer Erscheinungen sein kann, der Äther. „Dieses Medium ist in dem ganzen Weltall durch und durch einheitlich, und gerade der durchaus einfache und einheitliche Charakter des Äthers ist der Grund dafür, daß überall im Weltall dieselben Naturgesetze herrschen. Diese Einheitlichkeit in der Welt ist ein Beispiel dafür, wie sich ‚Vernunft‘ in den Dingen zeigt. Ohne sie wäre eine Naturwissenschaft vom Weltall unmöglich.“

Die Frage, in welcher Beziehung Äther und Materie stehen, scheint durch das Verhalten der elektrischen Ladungen, aus denen ja die Materie aufgebaut ist, zugunsten einer gegenseitigen Unabhängigkeit entschieden zu werden. Nähert man z. B. zwei gleichnamige Ladungen einander, so muß man ihnen Energie zuführen, die jedoch von ihnen *ungeändert* an den Äther weitergegeben wird, in welchem als Folge der stattgefundenen Annäherung eine Vergrößerung der Feldenergie auftritt. Im Gegensatz hierzu zeigt die von der Relativitätstheorie behauptete Nichtstarrheit der elektrischen Ladungen, daß eine scharfe Unterscheidung zwischen Äther und Materie fallen zu lassen ist, daß es nur *eine* einheitliche Weltsubstanz, den Äther, gibt, in welchem die Atome Knotenstellen der Energie bilden, die nach außen in das elektrische Feld auslaufen. Eine Stütze für diese Ansicht bietet die Gravitation: Nähert man zwei schwere Massen einander, so hat man ihnen im Gegensatz zu obigem Beispiel nicht nur keine Energie zuzuführen, sondern gewinnt Energie, obwohl gleichzeitig der Äther im Gravitationsfeld ebenfalls Energie gewinnt. Diese neugewonnene Energie

kommt aus den schweren Massen selbst hervor; umgekehrt geht an sie bei Entfernung voneinander Energie verloren. Hieraus folgt eine gegenseitige Beeinflussung des Äthers und der Knotenstellen, die vermutlich auch bei den elektrischen Ladungen, wenn auch quantitativ nicht in solchem Maße wie bei den schweren Massen, vorliegt. Den Beleg für diese gegenseitige Beeinflussung sieht *Mie* in der Einsteinschen Theorie.

Die Einsteinsche Theorie beschreibt nämlich die Veränderung der materiellen Teilchen, die als Folge des jeweiligen Ätherzustandes auftritt, formal durch eine Veränderung der raumzeitlichen Maßeinheiten. Eine solche Veränderung der raumzeitlichen Maßeinheiten kannten schon die neueren skalaren Gravitationstheorien (*Mie*, *Nordström* u. a.), die das Feld von einem einzigen (skalaren) Potential ableiten. So soll z. B. nach diesen ebenfalls, wie nach *Einstein*, eine Rotverschiebung der Spektrallinien im Schwerfeld der Sonne auftreten. Diese Veränderungen sind universeller Natur, hängen also nicht von der spezifischen Natur der materiellen Teilchen ab, weil sie auf einer Veränderung der physikalischen Natur des Weltäthers beruhen. Da daher auch die Maßstäbe und Uhren die gleiche Veränderung wie alle Körper erfahren, ist es unmöglich, mit diesen unkorrigierten sogenannten „natürlichen“ Maßstäben und Uhren den Einfluß des Gravitationspotentials festzustellen (*Prinzip von der Relativität des Gravitationspotentials*). Man müßte zu diesem Zwecke korrigierte „vernünftige“ Maßstäbe und Uhren besitzen, bei denen dem Einfluß der Gravitation Rechnung getragen ist. Was nun die Einsteinsche Theorie im Gegensatz zu den genannten skalaren Theorien charakterisiert, ist das *Prinzip von der Relativität des Gravitationsfeldes*. Betrachtet man nämlich ein Gebiet, das groß genug ist, damit das Gravitationspotential dortselbst verschiedene Werte besitzt, so daß also ein Potentialgefälle, d. i. ein Feld, besteht, so ist nach *Einstein* auch der Einfluß dieses Gefälles nicht nachzuweisen (bei Zugrundelegung natürlicher Maße). In einem geschlossenen Kupee z. B., das im Schwerfeld fällt, ist die Schwere aufgehoben, weil träge und schwere Masse (wie auch in den skalaren Theorien) einander proportional sind. Versucht nun ein Beobachter im fallenden Kupee durch optische Mittel, z. B. durch Markierung der Bahn eines Lichtstrahls, den Einfluß und die Existenz des Schwerfeldes zu prüfen, so kommt er zu einem negativen Resultat, da nach *Einstein* das Licht im Gravitationsfeld die Fallbeschleunigung der materiellen Körper mitmacht. Infolgedessen ist die Lichtgeschwindigkeit im Schwerfeld veränderlich, Längen und Zeiten werden also von der Schwere verschieden beeinflusst (im Gegensatz zu den skalaren Theorien); die Einsteinsche Theorie führt daher auf einen Tensor von 10 Gravitationspotentialen. Diese Lichtbrechung im Vakuum, die das Schwerfeld hervorbringt, ist nach *Mie* wieder ein deutlicher Hinweis für den gegenseitigen Zusammenhang von Äther und Materie. „Es gibt eben nur eine einheitliche Weltsubstanz; die greifbare Materie ist nur eine besondere Modifikation des Äthers, der uns im Leeren rein entgegentritt.“

Der Satz von der Relativität des Gravitationsfeldes drückt sich bei *Einstein* mathematisch durch den Satz von der allgemeinen Transformierbarkeit der Koordinaten aus. Danach ist jede Transformation zulässig, da sie durch entsprechend fingierte Gravitationsfelder legitimiert werden kann. Demgegenüber betont *Mie* den physikalischen Sinn der Maßstabveränderungen



als Veränderungen der Materie im Schwerfeld. Wenn auch das Schwerfeld in den natürlichen Maßen nicht nachzuweisen ist, so daß alle Koordinatensysteme gleichberechtigt scheinen, so führt doch nach *Mie* der Gebrauch der korrigierten Maßsysteme auf die sukzessive Aufstellung eines zwangsläufig bestimmten, vernünftigen Koordinatensystems. Die Naturgesetze behalten allerdings in jedem Koordinatensystem ihre Form, gestatten also keinen Schluß auf das „richtige“ System. Danach sind z. B. ptolomäisches und kopernikanisches System gleichberechtigt. „Die Verbreitung dieser Meinung, die man eigentlich als die relativistische Auffassung bezeichnet, hat sicherlich viel dazu beigetragen, das Interesse weiter Kreise an der Einsteinschen Gravitationstheorie wachzurufen. Aber trotzdem und trotz der Zuneigung *Einsteins* selber zu der relativistischen Auffassung glaube ich bestimmt sagen zu dürfen, daß sie nicht haltbar ist, weil sie die erkenntnistheoretischen Grundlagen der Naturforschung verkennt. Es ist nicht richtig, daß die Form der Naturgesetze die einzige Norm wäre, nach welcher die Vernunft über Zulässigkeit oder Unzulässigkeit eines Weltbildes entschied.“ *Mie* erläutert dies an einem Beispiel und verweist auf eine Arbeit (Ann. d. Phys. 62 [1920]), in welcher ein Prinzip zur praktischen Ausführung eines vernünftigen Koordinatennetzes angegeben ist, so daß keinerlei zeitliche Veränderungen oder örtliche Unterschiede in der physikalischen Beschreibung der Welt vorkommen, die nicht wirklich im objektiven Tatbestande begründet sind. „So wird auch die Wissenschaft zwangsläufig zu dem kopernikanischen Koordinatensystem geführt, und keine noch so fein spintisierende Theorie wird dieses durch lange praktische Erfahrung gefundene System jemals beseitigen können oder auch nur etwas ändern.“

Der Leser wird in der vorstehend skizzierten Auffassung *Mies* unschwer eine Analogie zu der Auffassung von *H. A. Lorentz* über die spezielle Relativitätstheorie erkennen. Auch dort war von einem ausgezeichneten System (dem im Äther ruhenden System) die Rede, das sich gleichwohl durch keinerlei physikalische Mittel von den anderen gleichberechtigten Systemen unterscheiden ließ. Nichtsdestoweniger postuliert *Lorentz* die Bezugnahme auf den Äther aus erkenntnistheoretischen Gründen und sieht z. B. in der Lorentzkontraktion eine reelle Veränderung der Materie bei Bewegung durch den Äther. Ganz ebenso spricht *Mie* in der allgemeinen Relativitätstheorie von Veränderungen der Materie durch den Ätherzustand, die hinwegkorrigiert werden müssen, um auf den Normalzustand und das vernünftige Koordinatensystem zu kommen. Dazu kommt, daß in der allgemeinen Relativitätstheorie von all den theoretisch gleichberechtigten Systemen die Mehrzahl nicht auch praktisch-rechnerisch gleichberechtigt sind, im Gegensatz zu den gleichberechtigten Systemen der speziellen Relativitätstheorie. *Mies* Leitmotiv ist natürlich weniger dieses praktische Moment als das erkenntnistheoretische, dem der Glaube „an die große Einheit in den Dingen, die wir mit dem Namen Äther bezeichnen“, zugrunde liegt.

Logisch ist *Mies* Standpunkt gewiß ebensowenig anfechtbar als seinerzeit der von *H. A. Lorentz*. Es ist sogar möglich, daß er sich als der nützlichere erweisen kann, wenn der so wünschenswerte Ausbau der Theorie der Materie sich in den von *Mie* vorgezeichneten Bahnen bewegen sollte, wogegen allerdings *Weyl* in der vierten Auflage von „Raum, Zeit, Materie“ Stellung genommen hat. Wie dem auch sei, jedenfalls

sollte kein Physiker vom Fach versäumen, die kleine tiefsinnige Schrift von *Mie* zu lesen.

Friedrich Kottler, Wien.

**Einstein, A., Vier Vorlesungen über Relativitätstheorie**, gehalten im Mai 1921 an der Universität Princeton. Braunschweig, Fr. Vieweg u. Sohn A.-G., 1922. 70 S. und 4 Abbild.  $14\frac{1}{2} \times 22\frac{1}{2}$  cm. Preis geh. M. 60,—.

In diesen Vorträgen gibt *Einstein* eine zusammenhängende Darstellung der Relativitätstheorie, die zur Einführung in das Gebiet sehr geeignet ist für solche Leser, die die Elemente der Infinitesimalrechnung beherrschen. Der Wert des Buches beruht vor allem auf den Einblicken, die es in *Einsteins* innerste Gedankenwelt, in seine philosophischen Überzeugungen gestattet. Gleich am Anfang findet sich der charakteristische Satz: „Es ist . . . nach meiner Überzeugung eine der verderblichsten Taten der Philosophen, daß sie gewisse begriffliche Grundlagen der Naturwissenschaft aus dem der Kontrolle zugänglichen Gebiete des Empirisch-Zweckmäßigen in die unangreifbare Höhe des Denknötwendigen (Apriorischen) versetzt haben.“ Überall geht die Begründung in dieser Weise auf die letzten Zusammenhänge zurück; man fühlt von Schritt zu Schritt, wie ein philosophischer Drang *Einstein* zu seinen Begriffsbildungen geführt hat. Solche erkenntnistheoretischen Ausführungen erscheinen aber nicht als jene wortreichen Gespinnste von endlosen Gedankenfäden, wie sie die professionelle Philosophie liebt, sondern in der Form lapidarer Sätze, oft nicht ohne leicht ironische Färbung. Auch die empirische Begründung und ihre mathematische Durchführung hat die prachtvolle Einsteinsche Kürze. Jeder Satz ist so durchdacht, daß sein Inhalt nicht kürzer und klarer ausgedrückt werden könnte. Die erste Vorlesung behandelt Raum und Zeit in der vorrelativistischen Physik; sie enthält auch eine knappe Darstellung der Tensorrechnung. In der zweiten Vorlesung wird die spezielle, in der dritten und vierten die allgemeine Relativitätstheorie dargestellt. Den Abschluß bildet eine kurze Besprechung der „kosmologischen Ideen *Einsteins*, seiner Lehre von der Endlichkeit der Welt. Das kleine Buch wird vielen ein guter Führer in das schwierige Gebiet sein; man muß ihm eine weite Verbreitung wünschen.

M. Born, Göttingen.

**Bauer, Hans, Mathematische Einführung in die Gravitationstheorie Einsteins nebst einer exakten Darstellung ihrer wichtigsten Ergebnisse**. Leipzig und Wien, Franz Deuticke, 1922. VII, 97 S. und 17 Abbildungen.  $16 \times 24$  cm. Preis geh. M. 40,—.

Der Verfasser gibt einen Teil der Relativitätstheorie, und zwar die Gravitationstheorie im engeren Sinn in ausführlicher und anschaulicher Weise wieder. Ein erster geometrischer Abschnitt stellt die Differentialgeometrie dar, soweit ihre Kenntnis zum Verständnis der Gravitationstheorie notwendig ist. Den Ausgangspunkt hierbei bildet der Begriff der Parallelverschiebung von Vektoren, wie er vor allem von *H. Weyl* ausgebaut worden ist. Der zweite physikalische Abschnitt bringt die Anwendung auf das vierdimensionale Raum-Zeit-Kontinuum, die Gravitationstheorie, und geht besonders auf die Perihelbewegung des Merkur und auf die Krümmung der Lichtstrahlen im Gravitationsfeld ein.

Das Buch bedeutet eine wertvolle Ergänzung zu den bereits vorhandenen Einführungen in die Relativitätstheorie; es stellt allerdings zum Teil schon erhebliche Forderungen an das mathematische Verständnis des Lesers.

A. Kopff, Heidelberg.



**Lorentz, H. A., A. Einstein, H. Minkowski, Das Relativitätsprinzip.** Eine Sammlung von Abhandlungen. Mit einem Beitrag von H. Weyl und Anmerkungen von A. Sommerfeld. Vorwort von O. Blumenthal. Vierte, vermehrte Auflage. Leipzig, B. G. Teubner, 1922. 159 S. 16 × 24 cm. Preis geh. M. 40,—; geb. M. 48,—.

In dem bereits in vierter Auflage erscheinenden Sammelband sind die folgenden grundlegenden Arbeiten zur Relativitätstheorie enthalten: H. A. Lorentz, Der Interferenzversuch Michelsons; Elektromagnetische Erscheinungen in einem System, das sich mit beliebiger, die des Lichtes nicht erreichender Geschwindigkeit bewegt. A. Einstein, Zur Elektrodynamik bewegter Körper; Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? H. Minkowski, Raum und Zeit. A. Einstein, Über den Einfluß der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes; Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie (die zuerst in den Annalen der Physik erschienene zusammenfassende Darstellung Einsteins); Hamiltonsches Prinzip und allgemeine Relativitätstheorie; Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie; Spielen Gravitationsfelder im Aufbau der materiellen Elementarteilchen eine wesentliche Rolle? H. Weyl, Gravitation und Elektrizität. Diese letzte Arbeit aus den Sitzungsberichten der Berliner Akademie 1918 ist in der vierten Auflage neu hinzugekommen.

Man wird natürlich zu diesem Sammelband nicht greifen, um die Relativitätstheorie kennen zu lernen. Sein hoher Wert liegt vielmehr darin, daß er demjenigen, der sich tiefer in die Theorie einarbeiten will, eine Reihe fundamentaler, an verschiedenen Stellen erschienener Untersuchungen unmittelbar zur Hand gibt. A. Kopff, Heidelberg.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen. Zur Frage des Wasserstoffmolekül-Modells.

Solange die eigentliche physikalische Natur der homöopolaren Bindung zweier Atome noch nicht vollständig geklärt ist, erscheint es in Anbetracht der großen Bedeutung dieses Problems zweckmäßig, jede Möglichkeit genauer zu prüfen, die diesem Ziele irgendwie näher führen könnte. Aus diesem Grunde erlaube ich mir kürzlich (Heft 23 des laufenden Jahrgangs dieser Zeitschrift) darauf hinzuweisen, daß die bisher stets gemachte Annahme, einquantige Ellipsenbahnen könnten in Atomen und Molekeln niemals vorkommen, speziell beim Wasserstoffmolekül vielleicht nicht unbedingt überzeugend ist und daß man mit derartigen Bahnen zu einem Modell gelangt, das zwar zunächst befremdend erscheinen mag, das aber wenigstens in qualitativer Hinsicht einige beobachtbare Eigenschaften des Wasserstoffes besser wiedergibt, als die bisherigen Modelle.

Von Herrn Born ist nun in Heft 31 dieser Zeitschrift gegen dieses Modell der zweifellos schwerwiegende Einwand erhoben worden, daß dasselbe mit der Adiabatenhypothese nicht vereinbar sei, die für die Quantentheorie neuerdings eine große Bedeutung erlangt hat. Indessen scheint mir noch nicht festzustehen, ob der Adiabatenhypothese wirklich die von Herrn Born angenommene universelle Bedeutung zukommt, d. h., ob überhaupt nur solche Veränderungen atomarer Gebilde in der Natur möglich sind, die man sich kontinuierlich, durch adiabatische Beeinflussung

durchgeführt denken kann. Folgende Überlegung legt die Annahme nahe, daß gerade die Molekülbildung aus einzelnen Atomen vielleicht nicht der Adiabatenhypothese unterworfen ist:

Bei der Vereinigung zweier Atome zu einem Molekül wandelt sich die ursprünglich vorhandene potentielle Energie der Atome schließlich in Wärme bzw. in kinetische Energie der Moleküle um. Es ist das Verdienst Polanyis (Ztschr. f. Physik 3, 337, 1920), darauf hingewiesen zu haben, daß diese Umwandlung bei näherer Überlegung gewisse gedankliche Schwierigkeiten bereitet. Nach Herzfeld (Ztschr. f. Physik 8, 132; 1922) besteht der einfachste Ausweg wohl in der Annahme, daß die beim Zusammentreffen zweier Atome frei werdende potentielle Energie von einem dritten Atom oder Molekül aufgenommen werden muß, wenn überhaupt die Bildung eines stabilen Moleküls erfolgen soll. Hiernach ist also für die Entstehung eines Moleküls nicht nur das Zusammentreffen der Atome, sondern auch der Zusammenstoß mit einem dritten Atom oder einem fremden Molekül unbedingt erforderlich. Übrigens braucht man sich nicht vorzustellen, daß sämtliche drei Teilchen gleichzeitig zusammentreffen; der Zusammenstoß der beiden ersten Atome wird vermutlich zunächst zu einem sehr energiereichen, labilen Molekül führen, das sich dann erst später, beim Zusammenstoß mit einem dritten Atom bzw. einem fremden Molekül in seine endgültige stabile Gestalt verwandelt.

Für die primäre Bildung der labilen energiereichen Molekülart aus den Atomen darf wohl die Gültigkeit der Adiabatenhypothese vorausgesetzt werden. Doch braucht der zweifellos recht gewaltsame, nur durch einen Zusammenstoß ermöglichte Übergang des energiereichen Moleküls in das stabile endgültige Molekül, soweit wir es zurzeit zu beurteilen vermögen, nicht der Adiabatenhypothese zu folgen. Ein Beispiel hierfür bietet die Umwandlung der instabilen Modifikation des Heliums (Orthohelium) in die stabile (Parhelium), die nach der Adiabatenhypothese überhaupt nicht stattfinden dürfte. Wie indessen Versuche von J. Franck lehren, findet die Umwandlung trotzdem statt, falls nur dem Orthohelium Gelegenheit geboten wird, mit fremden Molekülen zusammenzustößen. In ähnlicher Weise könnte auch die Bildung stabiler Moleküle bzw. die Umwandlung instabiler, primär gebildeter Moleküle in stabile ein Vorgang sein, der nicht der Adiabatenhypothese folgt. Vom theoretischen Standpunkt wäre das Versagen der Adiabatenhypothese gerade bei rasch verlaufenden Prozessen von der Dauer molekularer Zusammenstöße durchaus verständlich; denn eine Grundvoraussetzung für ihre Gültigkeit besteht darin, daß die gesamte Veränderung sehr langsam im Vergleich zu den quantenhaften Teilvorgängen, z. B. zum Umlauf eines Elektrons vor sich geht.

Eine Ablehnung des von mir vorgeschlagenen Wasserstoffmolekül-Modells allein aus dem Grunde, weil es der Adiabatenhypothese nicht folgt, scheint mir somit vorläufig nicht gerechtfertigt zu sein. Zu einer endgültigen Entscheidung könnte, wie mir auch heute noch scheint, nur eine quantitative Berechnung der Eigenschaften der irgendwie in Frage kommenden Modelle führen. Sollte z. B. das Bornsche Modell die richtige Größe der Dissoziationswärme liefern, so würde es gegenüber den sonst vorgeschlagenen Wasserstoffmolekül-Modellen selbstverständlich stark in den Vordergrund treten. Aber auch in diesem Falle bliebe zunächst noch das Bedenken bestehen, daß das wirk-



liche Wasserstoffmolekül diamagnetisch, das Bornsche Modell dagegen paramagnetisch ist. Allerdings scheint es sich hier um eine Schwierigkeit zu handeln, die nicht allein dem Bornschen Wasserstoffmolekül-Modell eigentümlich ist, z. B. sind auch die Modelle für die beiden Heliumatome, die gegenwärtig bereits als sichergestellt gelten, paramagnetisch, während das Helium in Wirklichkeit diamagnetisch ist.

Breslau, den 6. Oktober 1922.

A. Eucken.

## Botanische Mitteilungen.

**Die Biochemie und Physiologie der Grenzschichten lebender Zellen.** Nach der bekannten Lipoidtheorie von Overton ist das Eindringen von Stoffen durch den Plasmaschlauch in das Zellinnere von der Löslichkeit dieser Stoffe in Lipoiden abhängig. Overton gelangte zu dieser Auffassung durch die Erfahrungstatsache, daß im allgemeinen das Vermögen, Plasmolyse hervorzurufen, und die Fettlöslichkeit umgekehrt proportional sind: die besten Plasmolytika sind fettunlösliche Stoffe (Zucker u. a.), und das Ausbleiben der Plasmolyse bei fettlöslichen Substanzen ist offenbar dahin zu interpretieren, daß diese so rasch eindringen, daß dadurch sofort ein Ausgleich des Diffusionsgefälles geschaffen wird. Overton zieht aus diesem Verhalten den Schluß, daß die äußersten Schichten des Plasmaschlauchs, das Hyaloplasma, aus Lipoiden bestehen. Nur das, was diesen Gürtel zu passieren vermag, kann in die Vakuole gelangen. Nun ergeben sich aus der Overtonschen Theorie einige paradoxe Folgerungen. Unter den gebräuchlichsten Plasmolyticis befinden sich zahlreiche wichtige Pflanzennährstoffe, die doch offenbar von der Zelle aufgenommen werden müssen, während die lipoidlöslichen eine Menge sehr starker Gifte aufweisen, deren Aufnahme Zelltod nach sich ziehen muß. Diese und andere Erwägungen haben dahin geführt, daß die Lipoidtheorie teils modifiziert (Nathansohn), teils durch andere Theorien (Traubes Haftdrucktheorie, Ruhlands Ultrafiltertheorie) ersetzt worden ist. Eine einheitliche Auffassung ist bis jetzt noch nicht erzielt worden.

Die Untersuchungen des norwegischen Forschers Hansteen-Cranner scheinen nun das Problem in ein neues Stadium zu rücken. Die jüngste Arbeit (Medd. fra Norges Landbrukskøis 2, 1922) ist so reich an interessanten Einzeltatsachen und Ausblicken nach der verschiedensten Richtung, daß hier nur ganz kurze Hinweise auf das Wesentliche gegeben werden können. Hansteen fand, daß die Zellwände der verschiedensten Versuchsobjekte (Raps, rote Rübe, Erbse, Saubohne u. a.) eine Menge von Phosphatiden enthalten, die sich hinsichtlich ihrer Löslichkeit in Wasser und Alkohol, ihrer Ausfällbarkeit mit Bleiacetat usw. ganz wesentlich voneinander unterscheiden. Ein Teil dieser Phosphatide, die wasserlöslichen, tritt schon bei gewöhnlicher Temperatur in die umgebende Flüssigkeit aus, bei den wasserunlöslichen ist hierzu erhöhte Temperatur notwendig. Durch Salzionen kann dieses Heraustreten entweder gehemmt (Ca) oder gefördert (K) werden, im einen Fall resultiert eine Verminderung, im andern eine Steigerung der Permeabilität. Letztere gibt sich beispielsweise bei der roten Rübe dadurch zu erkennen, daß nunmehr der rote Farbstoff des Zellsaftes gleichzeitig mit den Phosphatiden in das umgebende Medium wandert. Die Phosphatide sind nicht allein auf die Zellwand beschränkt, sondern sie können, wie durch ultramikroskopische Aufnahmen bewiesen wird, auch im Zell-

innern, besonders an der Randzone des Protoplasmas, nachgewiesen werden. Auf Grund seiner Beobachtungen gelangt Hansteen zu folgenden Schlüssen:

„1. daß die plasmatischen Grenzschichten der Zellkörper — die Plasma- und die Vakuolenhaut — ein kolloidales System darstellen, dessen halb feste, hydrophile Dispersionsphase aus in Wasser unlöslichen, aber kolloid schwellbaren, dessen flüssige, disperse Phase aber aus in Wasser ganz löslichen Phosphatiden bestehe,

2. daß diese Grenzschichten mit ihren sämtlichen Phosphatiden die anliegenden Zellwände überall durchdringen und so mit diesen intim verbunden sind, und endlich

3. daß deshalb die Zellwände aller lebenden Zellen ein kolloidales Netzwerk darstellen, dessen festes Gerüst aus Zellulose und Hemizellulosen gebildet ist, dessen Maschen aber sämtliche Phosphatide der plasmatischen Grenzschichten enthalten.“

Punkt 3 ist besonders deshalb wichtig, weil er zeigt, daß die Zellmembran keineswegs als totes Gebilde zu betrachten ist und — der landläufigen Auffassung zuwider — offenbar bei der Stoffaufnahme eine maßgebende Rolle spielen muß. In Einklang damit steht auch, daß zwischen Wand und Plasma ein sehr intimer Kontakt besteht, der bei der Plasmolyse nur in gewaltsamer Weise gelöst wird, eine Erscheinung, die sich darin äußert, daß nicht bloß an den Tüpfelstellen, wie es meist dargestellt wird, sondern allenthalben ein Fadennetz zwischen beiden erhalten bleibt. Daß die Phosphatide sich in erster Linie an der Oberfläche des Protoplasmaschlauchs ansammeln, steht mit ihrer hohen Oberflächenaktivität in bestem Einklang. Hansteen kommt nun, besonders auf Grund der Tatsache, daß niemals das Herausdiffundieren der Phosphatide von einem solchen der Eiweißstoffe begleitet war, zu der Auffassung, daß die gesamte Plasmaoberfläche von Phosphatiden gebildet wird, daß also Eiweißmaschen, wie sie etwa Nathansohn annahm, fehlen. Da nun die Phosphatide zu den Lipoiden gestellt werden, so bedeutet die Hansteenske Auffassung eine Rückkehr zur Overtonschen Theorie, aber bloß insofern, als auch hier eine Lipoidhaut angenommen wird. „Dagegen kann die Voraussetzung dieser Theorie, daß durch diese Lipoidhaut die Stoffe nach Maßgabe ihrer Fettlöslichkeit oder des Verteilungsquotienten Wasser:Lipoid passieren, nicht richtig sein.“ Die Fehlschlüsse, zu denen Overton gelangte, sind darin begründet, daß er sie auf das Verhalten der Stoffe bei der Plasmolyse stützte: Da aber die Phosphatide äußerst labile Stoffe sind, so sind sie bei den zur Plasmolyse erforderlichen Lösungskonzentrationen zu meist denaturiert, und dabei nehmen sie gänzlich veränderte Eigenschaften an. Insbesondere können sich die Löslichkeitsverhältnisse gänzlich ändern, wasserlösliche Phosphatide können alkohollöslich werden usw. So ist es durchaus verständlich, daß Nährsalze in niedriger Konzentration eindringen, während sie bei höherer Konzentration die Phosphatidschicht derartig beeinflussen, daß die Außenschicht unpassierbar wird. Der gewaltige methodische Fortschritt der Hansteenschen Untersuchungen liegt nun darin, daß es gelang, mit frei aus den Zellen heraustretenden Phosphatiden zu arbeiten, die also durchaus die normalen Verhältnisse widerspiegeln. Damit sind wir mit einer ganzen Reihe von Eigenschaften der Phosphatide vertraut geworden, welche die Vermutung nahelegen, daß diese im Lebenshaushalt der Zelle eine sehr wichtige Rolle spielen. Durch ihre verschiedenen Löslich-



keitsverhältnisse vermögen sie den heterogensten Stoffen den Durchtritt zu gestatten. Ihre große Wandelbarkeit zwischen Gel- und Solzustand vermag die Permeabilitätsverhältnisse in gesetzmäßiger Weise zu ändern. Ihr Vermögen, mit den verschiedensten Stoffen: Metallen, Säuren, Zucker, Eiweiß, Alkaloiden usw. in Verbindung zu treten, läßt sie als „Lastträger“ im stofflichen Getriebe besonders geeignet erscheinen. Da sie aus den Wurzeln frei austreten, erstreckt sich ihr Wirkungsbereich möglicherweise auch in die Umgebung der Pflanze. Vielleicht kommen sie, da sie stark autoxydabel sind, auch als Sauerstoffüberträger in Frage. Schließlich eröffnet die Tatsache, daß sie die ganze Zellwand durchsetzen, neue Perspektiven über das Zellwandwachstum, zumal die Phosphatide ja häufig an Kohlehydrate gekoppelt sind. Das sind eine Menge teils noch rein spekulativer Vermutungen, die aber die mannigfaltigsten Angriffspunkte für weitere Arbeit liefern und deren Tragweite zweifellos über das Gebiet der Botanik hinausgreift, da Phosphatide auch im Tierreich — besonders im Gehirn — eine wichtige Rolle zu spielen scheinen.

**Phototropische Reizleitungsvorgänge bei Unterbrechung des organischen Zusammenhangs.** Durch die interessanten Untersuchungen von *Boysen-Jensen* und *Paál* ist der Nachweis erbracht worden, daß ein phototropischer Reiz in der Koleoptile (Keimsscheide) des Hafers auch über eine Schnittfläche geleitet werden kann, die den organischen Zusammenhang zwischen Spitze und Basis vollständig unterbricht. Es wurde dies dadurch erreicht, daß die Spitze mit einem glatten Schnitt abgehoben, hierauf wieder mit Gelatine aufgeklebt und dann einseitig belichtet wurde, während dafür gesorgt war, daß der Stumpf von keinem Licht getroffen werden konnte. Es zeigte sich dann, daß nach einiger Zeit in der Spitze die bekannte lichtwärts gerichtete Krümmung auftrat, die sich im weiteren Verlauf auf den verdunkelten Stumpf übertrug. Ja, noch mehr. *Paál* schaltete zwischen Spitze und Stumpf tote Scheibchen von spanischem Rohr ein, deren siebartige Durchlöcherungen mit Gelatine ausgefüllt waren und eine Diffusion von oben nach unten ermöglichten. Das Reaktionsbild war kaum verändert. Daraus schloß *Paál* nach dem Vorgange von *Boysen*, „daß die Reizleitung auf dem Herabwandern von bestimmten Stoffen beruht und nicht an die lebendige Mitarbeit der Zellen geknüpft ist.“ Es war naheliegend, auf Grund dieser Versuchsmethodik die Frage zu klären, ob eine solche Reizübertragung auch stattfindet, wenn man Spitzen und Stümpfe von verschiedenen Getreidearten miteinander kombiniert, ob also ein Reiz von Art zu Art und von Gattung zu Gattung übertragen werden kann. Für den Traumatotropismus liegen solche Versuche schon vor (*Stark* 1920, s. Ref. in dieser Zeitschrift), und sie haben in einer großen Anzahl von Fällen zu einem positiven Ergebnis geführt. Durch anschließende Untersuchungen (*Stark* und *Drechsel*, Jahrb. f. wiss. Bot. 1922) ist die Lücke nun auch für den Phototropismus ausgefüllt. Kombiniert wurden die verschiedensten Arten der Gattungen *Avena*, *Hordeum*, *Secale* und *Triticum* und sämtliche Kombinationen, auch die gattungsfremden, waren mit einer einzigen Ausnahme von Erfolg begleitet, nur war der Prozentsatz der Individuen einer Serie, die eine zugeleitete Krümmung im Stumpfe zeigten, von Serie zu Serie verschieden, und zwar ergaben sich folgende gesetzmäßige Beziehungen: Die höchste Reaktionsziffer — bis zu 94 % — wurde erhalten, wenn

man auf den Stumpf die zugehörige Spitze pflanzte. Ein deutlicher Rückgang machte sich schon bemerkbar, wenn die Spitze eines anderen Individuums derselben Spezies verwendet wurde. Dieser Rückgang geht noch weiter, wenn man verschiedene Arten derselben Gattung miteinander kombiniert, also *Hordeum distichum* auf *H. tetrastichum*, *Triticum vulgare* auf *T. polonicum* aufsetzt usw. Mit dem Überschreiten der Artgrenze ist aber schon das Minimum des Erfolgs erreicht, es hält sich also weiterhin der Prozentsatz der Reaktionen auf derselben Höhe, d. h. es macht keinen Unterschied mehr, ob man Arten derselben oder verschiedener Gattungen (*Hordeum* auf *Secale*, *Triticum* auf *Avena* usw.) miteinander kombiniert. Das gilt allerdings nur mit einer gewissen Einschränkung. Eine Ausnahme hiervon machen nämlich alle jene Kombinationen, bei denen eine *Avenaspitze* auf einen gattungsfremden Stumpf (*Hordeum*, *Secale* oder *Triticum*) gesetzt wird. Hier ist der Erfolg sogar größer als bei artgleichen Kombinationen von *Triticum*, *Hordeum* und *Secale*. Man kann also die unempfindlicheren Gattungen durch Aufsetzen einer *Avenaspitze* gewissermaßen „sensibilisieren“. Diese Ergebnisse führten zu folgender Deutung: die Reizübertragung beruht auf der Diffusion bestimmter Reizstoffe; diese Stoffe sind wie beim Traumatotropismus in bestimmtem Maße spezifisch, daher die Abnahme des Erfolgs mit systematischer Distanz. Das abweichende Verhalten der gattungsfremden Kombinationen mit *Avenaspitze* kann so interpretiert werden, daß *Avena* entsprechend seiner hohen phototropischen Sensibilität mehr Reizstoffe bildet und hierdurch der dämpfende Einfluß der chemischen Verschiedenheit der Reizstoffe überkompensiert wird. Weiterhin konnten dann noch die *Paál*-schen Befunde über die Einschaltung von Rohrscheibchen bestätigt werden und es zeigte sich, daß eine Reizübertragung sogar noch dann stattfindet, wenn die Zwischenzone eine Dicke von 1,2 mm erreicht. Darüber hinaus werden die Ergebnisse unsicher.

**Zum Wärmephänomen der Araceenblütenstände.** Die Wärmeproduktion der Araceenblütenkolben hat schon seit alters her die Aufmerksamkeit der Pflanzenphysiologen auf sich gezogen. Einen guten Überblick über die ausgedehnte Literatur gibt ein Aufsatz von *Leick*, der gleichzeitig eigene Erfahrungen auf diesem Gebiete bringt (Mitt. nat. Ver. Neupomm. u. Rüg., 48, 1921). Schon *Saussure* hat zu Beginn des vorigen Jahrhunderts die Ansicht geäußert, daß die Wärmeproduktion hier die Folge sehr gesteigerter Atmung ist. *Garreau* hat dann den Nachweis erbracht, daß der Sauerstoffverbrauch der Wärmeproduktion genau parallel geht und daß insbesondere die Maxima für Wärmebildung und Sauerstoffkonsum zusammenfallen. Er wies auch darauf hin, daß die pupillöse Oberfläche des Araceenkolbens die Gasaufnahme ganz wesentlich erleichtert. Sehr ausführliche Untersuchungen, die sich vor allem auf den italienischen Aronstab (*A. italicum*) erstrecken, verdanken wir dann der Feder von *G. Kraus*. *Kraus* stellte fest, daß die Wärmeentwicklung zusammenfällt mit dem Aufblühen und dem ersten Bestäubungsstadium, also der Zeit, zu welcher die Insekten durch die Wärme herbeigeloct werden sollen, und daß die Wärmesteigerung von der Spitze des Kolbens nach der Basis fortschreitet. Ferner konnte er zeigen, daß gleichzeitig die Kohlehydrate (Zucker und Stärke) völlig verbraucht, also offenbar veratmet werden. Dieser Verbrauch schreitet ebenfalls basipetal fort. Er kann so weit gehen, daß  $\frac{3}{4}$  der



Trockensubstanz verschwindet. Die Temperaturerhöhung kann bis zu 27° betragen. *Kraus* zog noch eine Reihe von weiteren Arten aus den Gattungen *Arum*, *Stauromatum*, *Philodendron*, *Calla*, *Anthurium* und *Monstera* in den Kreis der Betrachtung. *Calla*, *Anthurium* und *Monstera* ergaben keine Temperatursteigerung, die anderen Formen aber schlossen sich im wesentlichen an *Arum italicum* an. Ausgedehnte eigene Beobachtungsreihen stammen dann von *Leick* selbst. „Es gelang mir der Nachweis, daß sich je nach dem Bau der Blütenstände vier Erwärmungstypen unterscheiden lassen, die einen Übergang zeigen von der periodischen Erwärmung des ganzen Blütenstandes bei *Monstera* zu der ausgesprochenen Thermophorenbildung bei den Araceenarten. Die so gewonnene biologische Entwicklungsreihe stimmt mit der von *A. Engler* aufgestellten phylogenetischen überein.“ Gleichzeitig ergeben sich sehr enge Beziehungen zu den blütenbiologischen Verhältnissen, so daß wir es hier sicher mit Anpassungserscheinungen zu tun haben.

**Über Pollenkörner mit vermehrter Kernzahl.** Es existieren zahlreiche Angaben in der Literatur, wonach die Kernzahl in den Pollenkörnern der Monocotylen in abnormer Weise vermehrt ist. Ein besonders auffälliges Beispiel derart beschreibt *Nemec* für eine Hyacinthensorte. Es handelte sich hier um Pollenkörner, die Staubblättern entstammten, welche partiell in Kronblätter umgewandelt waren. Diese Pollenkörner wiesen oft mehr als 5 Kerne auf, und *Nemec* führt dieses abweichende Verhalten auf die abnorme Entwicklungsrichtung der Antheren zurück. Nach neueren Beobachtungen von *E. de Mol* (Proceed. Roy. Acad. Amst. 23) ist diese Erklärung zum mindesten nicht erschöpfend. *E. de Mol* beobachtete nämlich genau dieselbe Erscheinung bei sonst normal ausgebildeten Antheren der Hyacinthensorte „Nimrod“. Die Antherenfächer wiesen hier zweierlei Sorten von Pollenkörnern auf, sterile, stärkefreie mit fehlender Wandskulptur und wesentlich größere, keimfähige, die durch ihren starken Stärkegehalt auffielen und in ihrem gedrungenen, blasenförmigen Keimschlauch Kerne in sehr großer Zahl aufwiesen. Da „Nimrod“ ein Bastard ist und die abnorme Chromosomenzahl 19 (statt 24) besitzt, so liegt die Vermutung nahe, daß eine Beziehung zwischen diesen beiden Eigenschaften und der Kernvermehrung besteht. Darüber sollen noch weitere Untersuchungen Auskunft geben. Soviel hat sich aber schon als sicheres Ergebnis herausgestellt, daß auch äußere Faktoren — wie schon *Sakamura* vermutungsweise geäußert hat — einen maßgebenden Einfluß besitzen. *de Mol* hat nämlich auf Grund eines größeren statistischen Zahlenmaterials ermittelt, daß das „Nemecsche Phänomen“ sich hauptsächlich dann einstellt, wenn die unreifen Zwiebeln dem Boden entnommen und zur Kultur verwendet werden. Auf diese Weise kann man ganz willkürlich bei den verschiedensten Hyacinthenrassen Pollenkörner mit vermehrter Kernzahl erhalten.

**Serodiagnostische Untersuchungen über die Verwandtschaften innerhalb des Centrospermenastes des Pflanzenreichs.** Die bekannten Serumreaktionen bilden ein erwünschtes Hilfsmittel, um bei Fragen systematischer Verwandtschaft in zweifelhaften Fällen Anhaltspunkte zu gewinnen. In diesem Sinne wird die Serumiagnostik von *Mez* und seinen Schülern in großem Stile betrieben. Allerdings muß man dieser

Methode gegenüber immer die nötige Kritik bewahren; sie kann nur Ergänzung sein, und deshalb sind ihre Ergebnisse, wenn sie den auf anderem Wege gewonnenen Vorstellungen zuwiderlaufen, stets mit Vorsicht entgegenzunehmen. Dies gilt auch von der neuesten auf diesem Gebiete publizierten Arbeit von *Malligson*, die sich mit den Verwandtschaftsverhältnissen des Centrospermenastes beschäftigt. (Arch. f. Bot. 1, 1922.) *Malligson* kommt auf Grund der Eiweißreaktionen zu folgendem Ergebnis: die Centrospermen gabeln seitlich von der Gruppe des Ranales ab — es ergaben sich deutliche Fernreaktionen mit den Berberidaceen. Die Reihe beginnt — wie es ihrem Anknüpfungspunkt entspricht — mit kompliziertem Blütendiagramm; so sind die Phytolaceaceen zum Teil noch vielgliedrig im Gynoeceum und Androeceum und manchmal sind 2 Perianthkreise vorhanden. Im Laufe der Entwicklung macht sich aber eine fortschreitende Reduktion der Blüte bemerkbar, die zu Dreiquirligkeit bei Amarantaceen, Chenopodiaceen und Polygonaceen führt. Auch die primitiveren Caryophyllaceen fügen sich diesem Rahmen ein, die höher differenzierten sollen erst sekundär wieder zur Fünfkürligkeit übergegangen sein. Mit den Polygonaceen ist aber noch keineswegs der Tiefpunkt in der Vereinfachung erreicht, die Linie führt mit seitlichen Abzweigungen (Urticales, Piperales) weiter bis zu den perianthlosen Amentales und Casuarinen, landet also dort, wo man zumeist den Ausgangspunkt für die Dicotyledonen gesucht hat. *Malligson* macht hierfür geltend, daß zwischen Amentales und Gymnospermen keine Reaktionen gefunden worden sind, während nach *Mez* und *Lange* die Magnoliaceen Eiweißverwandtschaft zu den Gymnospermen zeigen. Die Centrospermenreihe im *Malligson*schen Sinn umfaßt alle Monochlamydeen mit Ausnahme der Cactifloren, Hamamelidaceen und Tricocceen. Für die beiden letzteren hat schon *Wellstein* angenommen, daß sie nicht in den Verwandtschaftskreis hereingehören, sondern einen Fall von Konvergenz darstellen. Dagegen ist hervorzuheben, daß ein Seitenast der Centrospermen in den Kreis der Sympetalen hereinführt: es wurden deutlich positive Reaktionen mit dem Primulales gewonnen, ein Formenkreis, für den bisher im Sympetalenkreis kein Eiweißanschluß vorliegt. So haben gerade die Reaktionen mit den Ebenales, den scheinbar primitivsten Sympetalen versagt. Derartige Beispiele gibt es innerhalb der Klasse der Sympetalen viele; so reagieren die Tubifloren weder mit den Ebenales, noch mit den Ericales, noch mit den Rubiales. Selbst bei scheinbar so nahestehenden Gruppen wie den Dipsaceen und Compositen versagt der serologische Verwandtschaftsnachweis. *Malligson* gelangt zu dem übrigens nicht neuen Schluß, daß die gewöhnliche Gliederung der Dicotyledonen in Choripetalen (mit Monochlamydeen und Dialypetalae) und Sympetalen den tatsächlichen Entwicklungsgang verschleiert. In dieser allgemeinen Formulierung hat er gewiß recht, denn es sprechen manche andersartige Tatsachen dafür, daß mehrere selbständige Entwicklungsreihen polyphyletisch durch dieses Schema hindurchlaufen. Wieviel aber von dem von *Malligson* von Familie zu Familie gezogenen Liniensystem standhalten wird, das ist fraglich. Das schließt natürlich den Wert solcher Untersuchungen nicht aus. Denn gerade der Tatsache, daß einmal manches auf den Kopf gestellt wird, können gesunde Anregungen für die weitere Diskussion entspringen. *Stark.*



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von

**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 44. (Seite 951–966.)

3. November 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Neuere Arbeiten über die Färbung der Säugetiere. Von *Felix Pinkus, Berlin.* (Mit 11 Abbildungen.) S. 951.

Die wissenschaftliche Vogelfangstation im Biologischen Versuchsgarten zu Helgoland. Von *Hugo Weigold, Helgoland.* S. 960.

Der Aufbau metallisch leitender Stoffe. Von *Ludwig Ebert, Würzburg.* S. 964.

# GOERZ

## TRIEDER- BINOCLES

FÜR REISE, SPORT,  
JAGD, THEATER

ZU BEZIEHEN DURCH  
DIE OPTISCHEN GESCHÄFTE  
KATALOG KOSTENFREI



**OPTISCHE ANSTALT C. P. GOERZ A.-G.**  
**BERLIN-FRIEDENAU 45**

## Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**  
Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 250.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 25.—.

Sollte die im Druck- und Papiergewerbe auch weiterhin fortschreitende Teuerung, deren Ende heute noch nicht abzusehen ist, eine abermalige Erhöhung des Bezugspreises innerhalb des 4. Quartals 1922 notwendig machen, so muß sich der Verlag schon heute eine entsprechende Nachberechnung vorbehalten.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 86.— für die einspaltige Petitzelle angenommen.

|              |   |    |    |                         |
|--------------|---|----|----|-------------------------|
| Bei jährlich | 6 | 18 | 26 | 52 maliger Wiederholung |
|              | 5 | 10 | 20 | 30% Nachlaß.            |

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Pestscheck für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 2020 Julius Springer.  
Konten für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 11893 Julius Springer.

## Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

**J. D. Möller, Wedel in Holstein.**  
Gegründet 1864. (294)

## Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

**zu kaufen gesucht.** Angebote unter **Nw. 293** an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

# Die Prinzipien der Streifenzeichnung bei den Säugetieren

Abgeleitet aus Untersuchungen an den Einhufern

Von

**Dr. phil. et med. Hans Krieg**

in Tübingen

Mit 58 Abbildungen im Text. (IV, 101 S.) 1922

(Roux' Vorträge und Aufsätze über Entwicklungsmechanik der Organismen, Heft XXX.)

**G. Z. 5**

### Inhaltsübersicht:

Kurze Charakterisierung der Leitgedanken und Befunde

I. Kapitel: Einleitung. Die phänoanalytische Forschungsmethode. Allgemein Biologisches über die Streifung der Equiden.

### Empirischer Teil

II. Kapitel: Morphologie der Equidenstreifung. A. Das Streifungsprinzip der Tigerpferde. B. Das Streifungsprinzip der anderen wilden Equiden. C. Streifung beim Hauspferde.

III. Kapitel: Vergleichende Betrachtung der Equidenstreifung.

### Theoretischer Teil

IV. Kapitel: Allgemeines über die Pigmentbildung.

V. Kapitel: Die Pigmentausbildung.

VI. Kapitel: Die spezifische Anordnung des Pigments in Streifen.

VII. Kapitel: Das Verhältnis der Streifung zur Einfarbigkeit.

VIII. Kapitel: Das Verhältnis der Pigmentzentren zur Streifung.

Schlußkapitel: Folgerungen allgemeiner Natur.

Die eingesetzten Grundzahlen (G. Z.) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit einem Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Zurzeit der Drucklegung dieses Heftes wird mit dem Schlüssel 160 gerechnet. Erhöhung dieses Schlüssels muß vorbehalten bleiben.



## Neuere Arbeiten über die Färbung der Säugetiere.

Von Felix Pinkus, Berlin.

Den Farben und Zeichnungen der Tiere ist von alters her große wissenschaftliche Bedeutung beigelegt worden. Systematik und Beurteilung der Verwandtschaftsverhältnisse basieren zum großen Teil auf ihnen, und auch die neuere Vererbungswissenschaft benutzt als ein leicht erkennbares und wichtiges Zeichen die *Fellzeichnung*. Wie sie schon immer bei der Züchtung der Haustierrassen einer der bedeutendsten Faktoren war, so steht sie auch in Darwins zoologischen Abstammungsbetrachtungen an erster Stelle. Aber schon lange vorher hat es große und gedankenreiche Arbeiten über die Ursache der so eigentümlich verschiedenen und dabei doch wieder in ihrer oft höchst bizarren Art so sehr regelmäßigen, kleinste Differenzen durch viele Generationen festhaltenden Hartnäckigkeit der Fellfärbung gegeben. Es ist auch im Laufe der Zeit eine große Zahl von Deutungen vorgebracht worden, von denen wohl alle in einzelnen Fällen zutreffen oder wenigstens Wahrscheinlichkeit für sich haben, so die Anpassung an die Farbe der Umgebung, Abschreckungsfärbungen, die Farben der geschlechtlichen Zuchtwahl, um nur die wichtigsten und bekanntesten zu nennen. Diese und viele andere Ideen sind durch Jahrzehnte hindurch mit Beispielen belegt, in ihren Abweichungen verfolgt, bestätigt, bekämpft und von vertiefterer Kenntnis her wieder belegt oder verworfen worden.

Ganz besondere Schwierigkeiten bereitet nun, ganz abgesehen von diesen allgemeinen Deutungsversuchen, eine neue Forschungsrichtung, der Versuch der Erklärung der *Zeichnungsentstehung am Individuum selbst*, in der Ontogenese, mit besonderer Beachtung der Bastardierung und Rassezüchtung, die Phänogenetik. Sie hat namentlich in V. Haeckers bekanntem Werk über die „entwicklungsgeschichtliche Eigenschaftsanalyse“ ihre sorgfältige Durcharbeitung gefunden.

Aus den letzten Jahren liegen einige Arbeiten vor, welche dem Problem der Tierzeichnung, namentlich der Streifen- und Fleckenfärbung der Säugetierhaut, näher zu kommen versuchen. Es sind die Arbeiten von Meirowsky<sup>1)</sup> und Leven<sup>2)</sup> und diejenigen von Krieg<sup>3)</sup>.

Die Arbeiten der erstgenannten beiden Auto-

<sup>1)</sup> E. Meirowsky, Über die Entstehung der sogenannten kongenitalen Mißbildungen der Haut, Wien und Leipzig, Wilh. Braumüller, 1919.

ren nehmen als den Mittelpunkt ihrer Betrachtungen die *menschlichen* Färbungsabnormitäten. Sie greifen die Frage von der Seite des Dermatologen an, indem sie die abnormen Menschenfärbungen, vor allem die in bisher so unerklärlich systematisierter Weise ausgebildeten *Muttermäler* mit den ihnen auf den ersten Blick so ähnlich gestalteten Tierfärbungen und Streifungen auf eine begreifbare gemeinsame Grundlage zu stellen versuchen. Dabei schweifen sie über das ganze Tierreich hin und benutzen die Gelegenheit, um die Vererbungsgesetze dem damit weniger vertrauten Mediziner an Beispielen, die sie mit unendlicher Sorgfalt aus eigener Beobachtung und aus der Literatur gesammelt haben, darzulegen.

Krieg hat den Umfang seiner Betrachtungen weit enger gesteckt, geht dafür aber mit vertiefter wissenschaftlicher Genauigkeit vor, indem er vorsichtig Hypothetisches von wirklich Gefundenem sondert und sorgsam tastend zu einigen beweisbaren Schlüssen zu gelangen versucht.

Die in ihren pathologischen Erscheinungen so sehr genau durchforschte Menschenhaut bietet eine Reihe von angeborenen Eigentümlichkeiten dar, welche von jeher die Erklärungsbedürfnisse des Dermatologen hervorriefen, die sog. systematisierten Muttermäler oder Naevi. Sie liegen in scharf abgegrenzten Flächen oder in eigentümlichen Streifen, deren Anordnung mit scharf abgesetzten, durch anatomisch definierbare Grenzen zu deutenden Hautbezirken übereinzustimmen scheint. Ganz besonders, seit durch v. Baerensprung<sup>4)</sup> die anatomische Grundlage der Ausbreitung der Gürtelrose (Herpes Zoster) in der Entzündung des zu den erkrankten Hautpartien gehörigen Rückenmarksganglions gefunden worden war, hat man diese bandförmigen Naevi auf eine ähnliche anatomische Basis zu beziehen gewünscht und sie sogar eine Zeitlang geradezu als *Nervennaevi* bezeichnet. Solche Funde als einfache Tatsachen, als ein Spiel der Natur hinzunehmen, ist dem For-

<sup>2)</sup> Meirowsky und L. Leven, Tierzeichnung, Menschenscheckung und Systematisation der Muttermäler, Berlin, Julius Springer, 1921.

<sup>3)</sup> Hans Krieg, Die Prinzipien der Streifenzeichnung bei den Säugetieren, abgeleitet aus Untersuchungen an den Einhufern. Vorträge und Aufsätze über Entwicklungsmechanik der Organismen, herausgegeben von Wilhelm Roux, Heft XXX, Berlin, Julius Springer, 1922.

<sup>4)</sup> v. Baerensprung, a) Beiträge zur Kenntnis des Herpes Zoster. Charitéann. 1861—63. b) Naevus unius lateris ebenda 1863.

schwer unmöglich. Die Lage des *systematisierten Naevus*, wie man diese Vorkommnisse jetzt benennt, erinnert so eigentümlich an bekannte Hautgrenzen von Nervengebieten, von Gefäßprovinzen, von Haarströmen, von entwicklungsgeschichtlich isolierbaren Bezirken, daß man sich immer von neuem bemühte, wenigstens eine gemeinsame *anatomische* Deutung zu gewinnen. Die sichtbaren Veränderungen boten eine so große Ähnlichkeit mit anatomisch bekannten Ver-

hältnissen, die vorhanden ist, wenn man sie auch nicht von außen sieht. (Fig. 1.)

*Meirowsky* und *Leven* können mit keinem der vielen im Laufe der Zeit besprochenen anatomischen Vergleichsversuche sich einverstanden erklären. Die Naevi sind frühembryonal angelegt, und es ist selbstverständlich, daß eine im jungen Embryo vorhandene punktförmige Entwicklungsstörung mit der Hautstelle, an welcher sie sich befindet, in gleichem Maße auswächst,

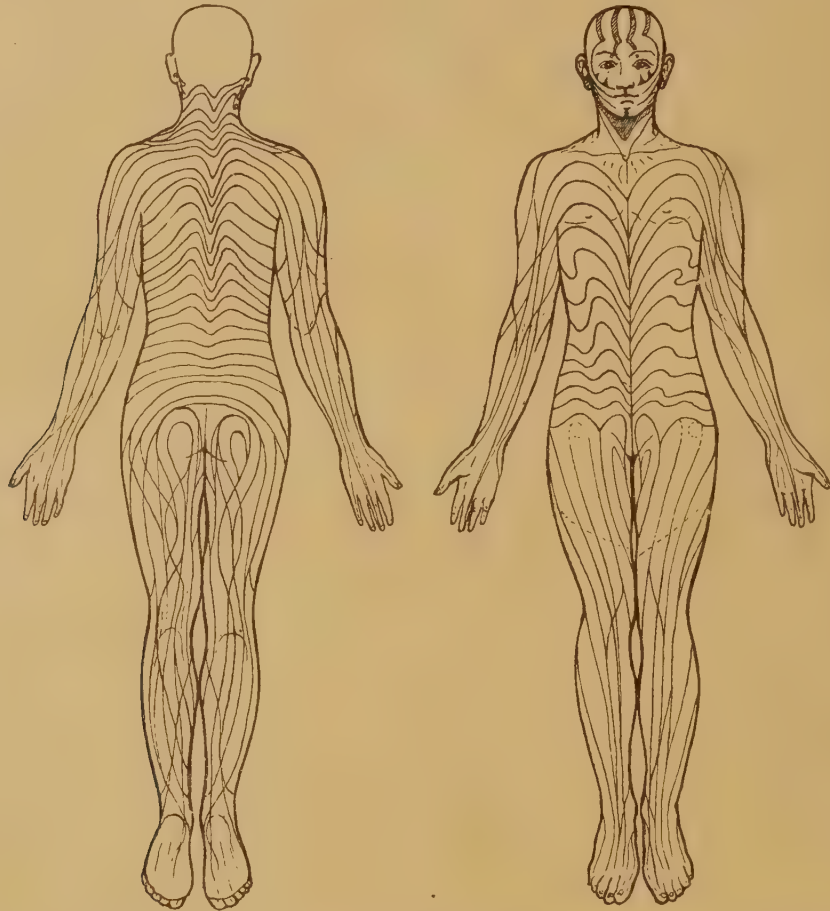


Fig. 1. Linien am menschlichen Körper, in denen bereits systematisierte Naevi beobachtet worden sind. (Aus *Blaschko*.)

hältnissen, daß die Deutung auf der Hand zu liegen schien, daß man glaubte, sich schämen zu müssen, nicht ganz leicht hinter den Grund der Systematisierung kommen zu können. Namentlich *Blaschko*<sup>5)</sup> hat durch die Zusammenfassung aller vorkommenden Flächen- und Streifenvorkommnisse an der Haut ein über den ganzen Körper ausgebreitetes System von Linien dargestellt, welches an die entwicklungsgeschichtliche segmentale (metamere) Einteilung des Kör-

pers erinnert, die vorhanden ist, wenn man sie auch nicht von außen sieht. Die Übereinstimmung des Naevus mit irgendeiner vorgebildeten Linie ergibt nichts für die Erklärung seines Zustandekommens. (Fig. 2.)

Diese angeborenen Abnormitäten sind entweder bereits am neugeborenen Menschen sichtbar, oder sie treten erst im späteren Leben, besonders oft in der Zeit der beginnenden Geschlechtsreife hervor. Die Disposition zu ihrer Ausbildung war aber schon von Anfang an vorhanden. Es sind Veränderungen, welche bereits im *Keim* bestanden, aber später

<sup>5)</sup> *Blaschko*, Die Nervenverteilung in der Haut in ihrer Beziehung zu den Erkrankungen der Haut. VII. Kongreß d. Deutschen dermatolog. Gesellschaft, Beilageheft 1901.



erst, im Laufe der Körperentwicklung, dem Auge erkennbar wurden. Auch von normalen Bildungen gibt es dieser Art — im Anbeginn unsichtbar und späterhin hervortretend — eine so große Reihe, daß die gesamte Änderung des Leibes von der Wiege bis zum Grabe hierunter begriffen werden kann. (Fig. 3.) Diese allmählichen, normalen, stets eintretenden Wachstums- und später Altersveränderungen sind das normale Paradigma für die Entstehung ebenfalls mitgeborener pathologischer Vorgänge. Es sind dies nicht Krankheiten, sondern von der Norm abweichende Bildungen, *Mißbildungen*. Diese hat man sich deshalb entschlossen, zum Unterschiede von Krankheiten, die z. T. durch Zufall den Körper befallen können, z. T. allerdings auch aus der Anlage des Menschen heraus ihn befallen *müssen*, falls der Lebensweg des Disponierten an der ver-

sammen, daß sie ihre Entstehung auf Anlagen, die im Keimplasma liegen, zurückführen. *Meirowsky* nimmt an, daß in den Erbfaktoren (den Genen) des Keimplasmas eine Abweichung von der zu einem gutgebildeten Individuum führenden normalen Lagerung, eine *Verwirrung* eintritt, die er mit dem Namen *Genotaraktose* belegt. Diese Verwirrung, die z. B. durch Inzucht erzeugt werden kann, macht alle möglichen Mißbildungen im Körper; die sich auf die Haut erstreckenden, durch Genotaraktose entstandenen Mißbildungen sind das, was als *Genodermatose* zu bezeichnen ist.

Vererbare und kongenitale Besonderheiten des Körpers liegen im Keimplasma begründet. Das Keimplasma enthält die zwingende Bedingung für die Form jeder Körperstelle. Speziell für die Haut bedeutet dies die Bedingung für



Fig. 2. Einzelne systematisierte Naevi mit verschiedenartigem Sitz (aus *Meirowsky* und *Leven*).

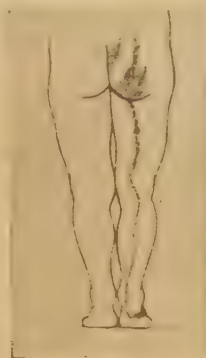


Fig. 3. Systematisierter Naevus (aus *Meirowsky* und *Leven*).

anlassenden Schädlichkeit vorbeiführt, mit einem eigenen Namen zu bezeichnen. Man nennt sie *Genodermatosen*.

Die Genodermatosen sind entweder allgemein, d. h. über den ganzen Körper verbreitet, oder lokalisiert. Zu den *allgemeinen* gehört die Haarlosigkeit, das Bestehenbleiben des fetalischen Lanugohaarkleides (sog. Hundemenschen), das universelle Fehlen der Schweißdrüsen, Albinismus, Xeroderma pigmentosum, Epidermolysis (Bullösis) hereditaria, die in Mißbildungen der Organe des äußeren Keimblatts, also des Nervensystems und der Haut, bestehende Recklinghausensche Krankheit und andere geringere Abnormitäten, vor allem aber die Ichthyosis und ihre lokalisierten Formen. Die Hauptform der *lokalisierten* Genodermatosen bezeichnen wir als Naevi oder Muttermäler.

Daß die allgemeinen Dermatosen, vor allem die Ichthyosisformen und die Haaranomalien, erblich sind, wissen wir durch langgliedrige Stammbäume. Auch *Meirowsky* gibt deren eine Anzahl. Die Vererbbarkeit von Muttermälern aber ist eine der ältesten Annahmen des Volksglaubens.

*Meirowsky* und *Leven* fassen diese Erbschaftserfahrungen in die wissenschaftliche Form zu-

Form, Farbe und alle anderen Eigenschaften jeder einzelnen Hautpartie. Dies ist eine reine Vererbung der Gene, die bei jeder Fortpflanzung sich wieder aufspalten. Die kleinsten Hautstellen sind aber wieder zu unspaltbaren Komplexen zusammengefaßt und als solche erblich, nicht nur jede kleinste Hautstelle für sich isoliert. Jede dieser kleinsten Hautstellen, jeder Komplex, endlich die gesamte Haut als Ganzes sind in ihrer Vererbbarkeit im Keimplasma festgelegt, anscheinend sogar vorgebildet (natürlich nicht körperlich). Indessen darf auch die Haut nicht als isoliert sich ausbildendes Organ angesehen werden. Sie ist, wie jedes andere Organ, ein Gebilde, welches unter dem Einfluß aller übrigen ebenso keimplasmatisch in bestimmter Richtung angelegten Organe steht. Dieser Einfluß kann synergetisch und antagonistisch, also positiv und negativ wirken, er erzeugt erst die Einheit und Gesundheit des Körpers. Auf die Hautausbildung ist vor allem der fördernde und der hemmende Einfluß des Nervensystems und bestimmter innersekretorischer Organe wirksam.

Die ganze Körperentwicklung, die aus Ei und Samenzelle sich hervorbildet, enthält keine anderen Bildungsmöglichkeiten als die, welche in ihnen beiden, den elterlichen Zellen, dem Keim-

plasma, darin sind. Aber es sind weit mehr Bildungsmöglichkeiten in ihm vorhanden, als zur Ausführung kommen können, und die wirklich entstehenden Formen variieren recht erheblich um eine nie in voller klassischer Ausbildung vorhandene absolute Norm herum. Die entstehende Körperform hängt vom zeitlichen Zusammenreffen der Ausbildungsorte ab und wird, trotz aller zwangsläufigen Entwicklung, doch nicht anders bezeichnet werden können als *zufällig*. Ich erinnere hier an die Ausführungen von Weismanns Schüler *Petrunkewitsch*, der eine uralte, schon von *Aristoteles* angedeutete Anschauung in die Form prägt, die Entstehung eines lebensfähigen Lebewesens sei nur dann möglich, wenn die Körperentwicklung einen ganz bestimmten schmalen Weg einhalte. Jedes Abweichen von diesem Wege über einen gewissen

Säugetieren (und auch bei Vögeln und niederen Tieren) gleich, vergleichen streifenförmige Naevi mit streifenförmiger Fellzeichnung der Säugetiere, weiterhin fleckförmige Naevi am Gesicht und Rumpf mit farbigen Abzeichen gescheckter Tiere usw. Diese Vergleichung der Fleck- und Streifenbildung stellt nur einen Vergleich der Lokalisationsmöglichkeit abgegrenzter Gebilde dar. Selbstverständlich *identifizieren* die Autoren nicht den streifenförmigen Naevus, ein pathologisches Gebilde, mit den Streifen des Zebras oder der gestromten Hunde. Wenn wir aber bei diesen allgemeinen Ausführungen *Meirowsky* und *Leven* zunächst ohne Bedenken folgen konnten, so scheint uns doch in den vorgebrachten speziellen Vergleichen Entwicklungsgang und zoologisches System in zu hohem Grade gleichgesetzt worden zu sein. Wenn wir das Schema



Fig. 4. Querbänderung (aus *Meirowsky* und *Leven*).

Grad hinaus macht die Lebensfähigkeit des Sprößlings zunichte. Kleine Variationen innerhalb der Grenzen des erlaubten Wegs fehlen nie; von dem, was im Keim ist, kann alles Mögliche zur Entstehung gelangen; die normale Entwicklung ist immerhin noch so breit, daß eine ganze Menge von Varianten und sogar von abnormen Mischungen zustande kommen kann.

Die abnormen Mischungen, die in dem von *Meirowsky* und *Leven* besprochenen Gebiet als Genodermatosen in die Erscheinung treten, beziehen diese Autoren auf alte, im Keimplasma von früher Vorfahrenzeit her befindliche rezessive Anlagen, die zwar nicht sichtbar werden durch lange Zeiträume hin, aber stets weiter mit vererbt werden. Tritt eine dieser durch Tausende von Generationen im Verborgenen weiter vererbten Anlagen durch irgendeinen nicht deutbaren Zufall in die Erscheinung, so kann sie dominant werden und sich weiterhin sichtbar vererben. *Meirowsky* und *Leven* meinen, daß der neuerdings sichtbar gewordene Erbfaktor entweder von früher her als solcher rein vorhanden sein kann oder sich durch eine, sagen wir zufällige, Mischung mehrerer Bestandteile herausgestaltet. Sie bringen nun ein großes wertvolles Bilder- und Tatsachenmaterial bei, in welchem sie alle am Menschen beobachteten Hautanomalien mit normalen Färbungen in der Tierreihe vergleichen. Sie stellen die in manchen Familien vererbte Stirnhaarlocke und einen menschlichen weißen Stirnfleck der so häufigen Blässe bei

der beobachteten Naevuslokalisierung strichförmiger Art von *Blaschko* betrachten, so ist es klar, daß bei groben Vergleichen für alle diese Streifen und Linien irgendeine Fellzeichnung in der Reihe der Säugetiere, und noch mehr, wenn wir so weit gehen wie *Meirowsky* und *Leven*, überhaupt in der Tierwelt als Analogon wird gefunden werden können. Bei genauerem Eingehen auf den Einzelfall kommen erhebliche Unterschiede heraus. Ich beschränke mich auf die Bemerkung, daß viele der brauchbaren Fellzeichnungen sehr oft nicht der Haarrichtung entsprechen, während beim Naevus diese Übereinstimmung ganz besonders häufig vorhanden ist, daß die menschliche Seitenzacke am Rumpf den Tierzeichnungen so gut wie immer fehlt, daß andererseits ringförmige Streifennaevi der Extremitäten völlig mangeln, während die ringförmige Wildfellzeichnung die Regel ist (Fig. 4), die Längsstreifung nur bei Haustieren vorkommt (*Krieg*). Längsfärbung an Affenextremitäten, die *Meirowsky* und *Leven* zum Vergleich heranziehen, sind, wie wir aus meinem Referat über *Toldts* Arbeit auf S. 604 dieses Bandes wissen, *Coriumpigment*zeichnungen und zunächst noch nicht ohne weiteres der Fellzeichnung der übrigen Säuger, denen ganz allgemein dieses großzellige *Coriumpigment* fehlt, gleichzustellen. Deshalb ist auch der von *Meirowsky* und *Leven* als ganz besonders wichtig hervorgehobenen Betrachtung des sog. Mongolenflecks am Kreuz der menschlichen Kinder als eines Naevus noch nicht ohne



weiteres zuzustimmen, da sie auf Coriumpigmentierung von der Art beruht, wie viele Affen sie besitzen, und ein normaler Rest dieser Färbung ist.

Mir scheint der Gedankengang von *Meirowsky* und *Leven*, trotz der bewundernswerten Vertiefung ihrer Ausführungen, zu geradlinig zu sein. Was eine Dogge an dunklen Längsstreifen an ihrem Bein hat, ist weder nach Art noch nach Ort noch als Richtung dasselbe, was ein Mensch mit streifenförmigem Naevus an seinem Bein zeigt. Es ist eben nur auch ein Streifen anderer Farbe als die Grundfarbe. Hier fehlt zu sehr der Gedanke an *Ähnlichkeitsbildungen*. Das Keimplasma beider, des Hundes wie des Menschen, ist fähig, dunkle Streifen in der Längsrichtung der Extremitäten zu erzeugen, gerade so wie gelegentlich bei weit voneinander entfernten Lebewesen jede Färbung entstehen und sogar als Rassenmerkmal züchterisch fixiert werden könnte. Die Annahme, daß diese Streifen wieder hervorgekommene, lange verborgen gewesene Ahneneigenschaften seien, ja sogar der Schluß, daß beide durch die gleiche „Verwirrung der Gene“ entstanden seien, ist nicht berechtigt und führt uns nebenbei, wie wir noch sehen werden, nicht näher an den Ursprungsgrund der Streifung heran. Müßten wir doch sonst als Vorfahren des Menschen ein in der Form von *Blaschkos* Schema gestreiftes Wesen annehmen. Wir könnten ebensogut das Kopfhaar des Menschen mit der Mähne des Löwen, des Pavians, der Pferdeantilope und des Pferdes vergleichen, als keimplasmatisch bei gemeinsamen Vorfahren lange verborgen gewesene und gerade bei diesen Tieren hervorgetretene und dominant vererbbar gewordene Eigenschaft.

Das zoologische System hat nicht die Bedeutung eines Erbganges. Die lebenden Tiere stammen nicht voneinander ab, und ihre stammesgeschichtlichen Vorfahren waren nur den lebenden, auf ihrer Stufe stehengebliebenen Wesen ähnliche, nie artgleiche. Das System ist nur ein Einteilungsprinzip, ein Register. Was speziell den Menschen betrifft, so steht sicher keines der von *Meirowsky* und *Leven* zum Vergleiche herangezogenen Säugetiere einer früheren Stufe seines Entwicklungsganges irgendwie nahe. Alle Färbungsähnlichkeiten können nicht auseinander vererbt, sondern nur konvergent zum Vorschein gekommen sein, ebenso wie die Zweifüßigkeit des Menschen, des Vogels, des bipeden Dinosauriers, deren Abstammung von ganz verschiedenen Stämmen wir doch recht genau kennen. Das Zusammenbringen ähnlicher Gestaltungen bei weit voneinander entfernten Tierarten erinnert an das Verfahren, welches wir in wunderlichster Weise in *Steinmanns* bekanntem Buch sehen, in welchem er die Umwandlung vieler als ausgestorben geltenden Tiere in noch lebende auf Grund von Ähnlichkeiten des Körperbaus behauptet, ohne auf die Abstammung das nötige Gewicht zu legen.

In den unendlichen Durcheinandermischungen, die wir mit Bewunderung beim Entstehen jedes neuen Lebewesens ahnen müssen, gehen Umwälzungen vor, die hier und da zu gleichen Bildungen führen. Darum ist die eine noch nicht eine wieder hervorgekommene Eigenschaft des anderen Tieres. Und die *Gründe* für die Entstehung der menschlichen Hautabnormitäten bleiben uns unbekannt wie zuvor. Wie nahe liegt die Idee, daß der tierfellähnliche Naevus des Menschen, der sogar dominant vererbbar ist, ein Rückschlag auf das Fell der affenähnlichen Vorfahren des Menschen ist, und wie falsch ist sie, denn eine verlorengegangene Eigenschaft ist nach dem vor allem von *O. Abel* vertretenen Grundsatz nie wieder fähig, zurückzukehren, nur ähnliche Bildungen können caenogenetisch entstehen. Der Tierfellnaevus kann so wenig ein Rückschlag auf felltragende Menschenvorfahren sein, wie die supernumeräre Mamma ein Rückschlag auf mehrzitzige Vorraffen ist. Aber es kann durch irgendein zeitliches Zusammentreffen örtlicher Bildungschancen eine Stelle des Körpers dunkleres Pigment und längere Haare entwickeln, falls nicht gar nur die abnorme Funktion sonst eines inneren Organes die Ursache davon ist, etwa in der Art, daß die Bildungs- und Funktionsanomalie im Nervensystem, die wir als *Recklinghausensche* Krankheit bezeichnen, als Teilerscheinung einen Tierfellnaevus entstehen läßt. So können, unter der Wirkung von Zufälligkeiten, aus der stets angelegten, aber der Regel nach bis auf die beiden Mammæ sich wieder zurückbildenden Milchleiste hier und da eine oder mehrere Mammæ supernumerariae hervorgehen, und sie sind doch nicht Erbschaften von Schwein oder Hund, körperlich weit spezialisierteren Tieren als der Mensch es ist, und von denen eine Rückkehr zu bereits verlorengegangenen Körper-eigentümlichkeiten nicht möglich ist.

Die Anlage der Naevi im Keim ist anzunehmen. Der Vergleich mit normalen tierischen Bildungen bringt uns aber nicht weiter. Diese Ähnlichkeit besagt nur, daß in der menschlichen Haut sich Streifen und Flächen bilden können, die in verwandter Form auch bei Tieren zu sehen sind. Nach den tieferen Ursachen der Systematisierung der Naevi müssen wir genau so weiter suchen wie vor den Arbeiten von *Meirowsky* und *Leven*. Diese haben uns Anregungen zu vertieftem Arbeiten gebracht, aber noch bei weitem nicht zum Ende. Wir wissen immer noch nicht, woher die anscheinend anatomisch begründete Systematisierung kommt.

In dieser Beziehung scheint uns die Arbeit von *Krieg* einen Schritt vorwärts zu führen. *Kriegs* Untersuchungen beschränken sich auf einen weit engeren Bezirk. Als Grundlage nimmt er die Streifung der Tigerpferde. Er geht dabei ganz systematisch und behutsam vor. Er beschreibt zunächst die schmal- und reichlich

gestreiften Zebras und diejenigen mit breiten und weniger Streifen, die Wildesel und die wirklichen Pferde. Hals und Rumpf sind senkrecht gestreift, die Beine sind geringelt, es stehen die Streifen also stets senkrecht zur Längsachse. Von den enggestreiften und in dieser Beziehung

schiedenen Wirkungsstätten sorgfältig verfolgt. Auch wir konnten in Berlin, während des öfteren Streiks der Straßenbahnen, unter den vielen Tausenden dort vor Hilfsfuhrwerken neuauftauchenden Pferden alle bei *Krieg* geschilderten Streifungen in großer Zahl notieren. *Krieg* macht

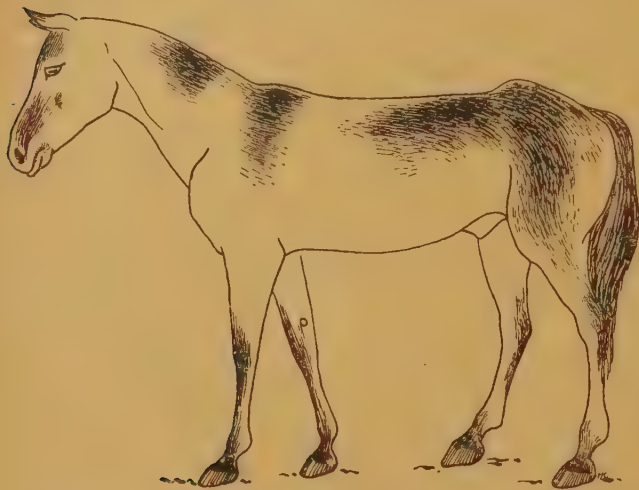


Zebra.

Fig. 5. Zebraähnliche Streifung an der Pferdestirn. (Aus *Krieg*.)

als primitiv anzusehenden Zebras (*Equus Grevyi*) an, dessen Beinstreifungsrichtung nicht weit auf den Rumpf hinauf übergreift, sind Übergänge bis zu den weitestgestreiften (*Equus quagga Wahlbergi*) vorhanden, bei denen die Richtung der Streifen des Hinterbeins sich bis

außerdem auf die seltenere, der Zebrastreifung ähnliche spitzbogenartige Schräg- und Längsstreifung an Pferdestirn und Nasenrücken aufmerksam, die er öfters gesehen hat. (Fig. 5.) Alle diese Streifen sind im einheitlich grauen oder graubraunen Fohlenhaarkleid, namentlich bei Frühgeborenen, deutlicher als am Fell des erwachsenen Pferdes. Ebenso ist beim Zebra in der Jugend die Beinstreifung oft stärker als später. Wie bei den Pferden treten bei anderen Säugetierarten ganz bestimmte *Pigmentzentren* auf. *Krieg* hat diese in einer früheren Arbeit<sup>6)</sup> genau beschrieben. Beim Pferde lassen sich diese Pigmentzentren, namentlich bei Falben, gut erkennen. Es befinden sich solche am Kopf, Hals, der Schulter, am Rücken, den Beinen. (Fig. 6.) Sowohl die Pigmentierungsorte diffuser Art als auch die Streifenzeichnung sind nur im allgemeinen erblich, nicht jeder Fleck und jeder Streif genau für sich. Als Zusammenhang der Pigmentzentren mit den Streifungen scheint der Umstand zu deuten zu sein, daß besonders an den Stellen der diffuseren Pigmentzentren der ungestreiften Pferde sich bei Bastardierung mit dem Zebra besonders deutliche Streifen ausbilden. (Fig. 7.)

Fig. 6. Pigmentzentren bei einem Falben. (Aus *Krieg*.)

vor die Körpermitte fortsetzen. Das ausgerottete richtige Quagga (Fig. 4) hat fast gar keine Beinstreifung mehr gehabt, und auch der hintere Teil seines Rumpfes ist dunkel mit kaum auffallenden Streifen. Alle anderen Equiden zeigen auch regelmäßig (Wildesel) oder gelegentlich (Pferd, namentlich eine Sorte von Falben und Graubraunen) Streifenzeichnungen rings um die Beine, an der Schulter (beim Pferd öfters verwaschen) dunklen Aalstrich am Rücken entlang. *Krieg* hat diese Pferde-, Esel- und Mäulerstreifung während des Krieges an seinen ver-

Während bei den Pferdearten und bei vielen anderen Säugetieren (Katzen, Hyänen, Beuteltiere) die *Querbänderung* im Vordergrund steht, die Längsstreifung aber sich am Kopf, dorsalen Aalstrich und evtl. einen Bauchstreifen beschränkt, tritt bei anderen Tieren die *Längsstreifung* des ganzen Körpers mehr hervor (Viverren, Nagetiere, Katzen). Sie ist vielfach eine Form des Jugendfells (Wildschwein, Tapir) und wird deshalb als primitivere Zeichnung an-

<sup>6)</sup> *Krieg*, Über Pigmentzentren bei Säugetieren, Anat. Anzeiger Bd. 54, 1921.





Fig. 7. Zebrabastard. (Aus Krieg.) Deutliche Zebrastreifung an Stelle der Pigmentzentren.

gesehen. Die Längsstreifung an den Extremitäten scheint im Wildzustand kaum vorzukommen,

die für die Entstehung der Pigmentzentren, der Flecke und der Streifen gegeben worden sind, befriedigt keine einzige nach *Kriegs* Ansicht, wenn er auch die vorhandenen Deutungen für die einzelnen beschriebenen Fälle gelten lassen möchte: so die Blutgefäßverteilung nach *Zenneck-Eimer*, die Nervenverläufe nach *van Rynberk*,



Fig. 8. Hautfaltung beim jungen Füllen. (Aus Krieg.)



Fig. 9. Hautfaltung beim neugeborenen Kaninchen. (Aus Krieg.)

wird aber bei gestromten Haustieren (Hund, Rind) herausgezüchtet<sup>7)</sup>. Von den Erklärungen,

<sup>7)</sup> Die längsgerichtete Färbung an Affenextremitäten, die aus der Körperzeichnung heraus sich auf Arme und Beine fortsetzt, wie *Meirowsky* und *Leven* nach *Toldt* betonen, ist eine Coriumzeichnung und darf nicht mit der epidermalen Fellzeichnung ohne weiteres verglichen werden.

den von *Meirowsky* und *Leven* besonders anerkannten Rhythmus des Wachstums nach *Haecker*. Dagegen neigt *Krieg* dazu, die Streifenzeichnung in Verbindung mit anderen Hautverhältnissen zu bringen, die in der Entwicklung des Körpers sichtbar hervortreten.

Hier scheint ihm die *Hautfaltung* ein bedeut-

sames Vergleichsmoment zu sein, wie er sie bei neugeborenen Kaninchen (Fig. 9) und Pferden (Fig. 8) abbildet. Diese Falten bringt *Krieg* in Vergleich mit den Leitlinien des Wachstums von *Toldt* und den Zonen intensiven Wachstums von *Haecker*. Er spricht deshalb von einem kausalen Zusammenhang zwischen den Zug- und Druckverhältnissen in der Haut mit der speziellen Anordnung des Pigments in Streifen. „Die Pigmentanordnung stellt das Abbild der dynamischen Zustände in der Haut während jener Phase der Entwicklung dar, welche für die Anordnung der pigmentbildenden Zellen kritisch gewesen ist.“ Diese Spannungsverhältnisse wechseln, wie man annehmen muß, während der

Zeichnungsform, die herauskommt, das zeitliche Zusammentreffen von Entwicklung der Spannungsrichtungen und Pigmententwicklung von Wichtigkeit. Das Zusammentreffen von Pigmententwicklung mit Längsspaltbarkeit der Haut erzeugt Längsstreifung, ihr Zusammentreffen mit querer Spaltbarkeit erzeugt Querstreifung, Mischungen oder Umkehrzeiten zwischen längs-

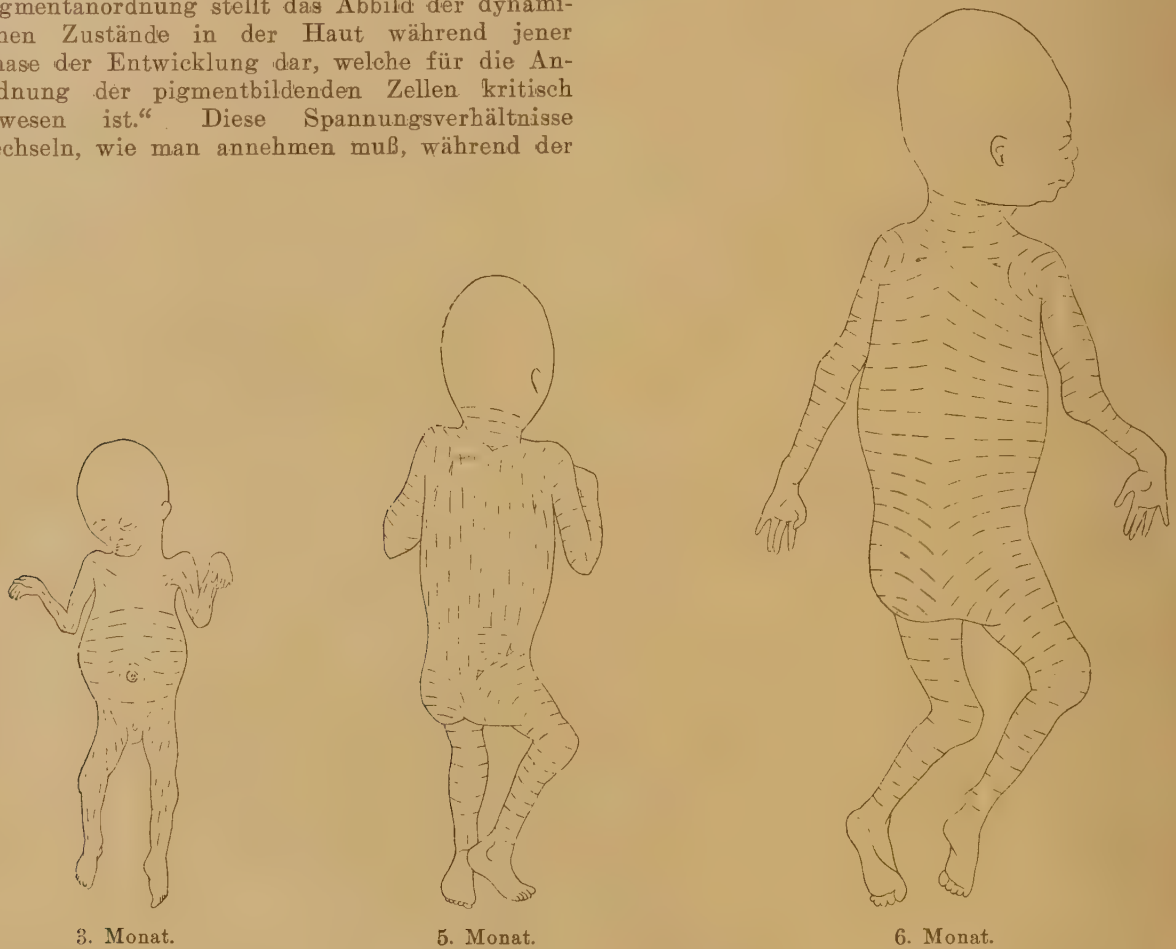


Fig. 10. Umkehrung der Spaltungslinien beim menschlichen Embryo.

Körperentwicklung. Für die Entwicklung des Menschen hat dies *Burkard*<sup>8)</sup> bewiesen, der an Embryonen die Umkehrung der Spaltungslinien von *Langer* um 90° und dann noch einmal um 90° nachgewiesen hat. (Fig. 10.) Die Gleichrichtung der Spannungslinien im fertigen Fetus und im jungen Embryo bedeutet demnach nicht eine einheitlich fortschreitende Ausbildung, sondern geht über eine halbkreisförmige Drehung vor sich, während welcher sämtliche nur irgendmöglichen Richtungen zu gewissen Zeiten bestanden haben. Es ist danach für die

gerichteter oder querer Spaltbarkeit bringen die von *Krieg* als *Interferenz* bezeichneten Fleckenbildungen oder die Verwischung der Streifenzeichnung zur Erscheinung. Solche Interferenzfärbungen treten besonders bei der Bastardierung von gestreiften Tieren mit diffuspigmentierten hervor, und hier vornehmlich an den Stellen, wo bei dem gestreiften Elter zwei Streifensysteme verschiedener Richtung aneinanderstoßen und ihre Gebiete unregelmäßig sind. Dies ist besonders in der Schultergegend und an der Kruppe des Zebras der Fall, so daß sich bei den Zebra-Pferd- und Zebra-Esel-Bastarden hier Fleckenregionen und verwischte Zeichnungen einstellen können. (Fig. 11.) Manche komplizierten Zeich-

<sup>8)</sup> *Burkard*, Über die Hautspaltbarkeit menschlicher Embryonen, Arch. f. Anatomie und Entwicklungsgeschichte 1903.



nungsformen, z. B. die Ringflecke mit Augenzentrum, bleiben aber auch bei der eben beschriebenen Deutung unerklärbar.

*Kriegs* Anschauung ist diejenige, daß nicht ein Erbfaktor für Streifung an sich erblich ist. Das ist eine andre Auffassung als die von *Meirowsky* und *Leven*, welche weniger die Entstehung einer Eigenschaft im Individuum durch Zusammentreffen mehrerer Funktionen als die in Erscheinung tretende Eigenschaft selbst für erblich halten. Für *Krieg* handelt es sich bei der Entstehung der Streifung und Fleckung um das Zusammentreffen mehrerer Faktoren; der eine ist ein bestimmtes streifenförmiges Spannungsverhältnis in der Haut während ihrer Entwick-

Streifung entstehen als beide Eltern sie aufweisen. Zeitliche Verschiebung der Faktoren, die man experimentell zustande bringen kann, erzeugt andere Fellzeichnungen, erkennbar als Interferenz, als engere und deutlichere Streifung als die der Eltern war. Welches Fellbild herauskommt, hängt mit der Korrelation von Spannung und Pigmentbildung zusammen. „Eine spezifische stammesgeschichtliche Notwendigkeit im strengen Sinne braucht keineswegs vorzuliegen, wenn auch naturgemäß die einzelnen Bildungskomponenten eine stammesgeschichtliche Bedeutung haben müssen.“ Ausdrücklich betont *Krieg*, daß vieles an seinen Ausführungen hypothetisch sei; die Arbeit in diesem Gebiet gleicht einer Gleichung



Fig 11. Zebrabastard. (Aus *Krieg*.) Sehr deutliche Interferenzzonen an den Grenzen von Rumpf- und Beinstreifung.

lung, der andere die zu gleicher Zeit auftretende Pigmentierung gerade an diesen Stellen. Ein Streifen wird demnach nicht als Streifen auf den Embryo übertragen, weil die Eltern ihn direkt durch die in ihrem Keimplasma enthaltenen Streifungsanlagen auf ihre Kinder vererben; vielmehr vererben sie das Zusammentreffen mehrerer Entwicklungsvorgänge, die Korrelation, deren Resultat der Streifen ist. Es ist sogar möglich, daß die Streifung latent bleibt und erst durch experimentelle Maßnahmen sichtbar gemacht werden kann. Enthaarung und Belichtung der zur Streifung geneigten Haut am Kaninchenoberschenkel läßt z. B. erst die sichtbaren Streifen hervorkommen<sup>9)</sup>, Bastardierung läßt primitivere und stärkere

mit vielen Unbekannten, die erst allmählich eliminiert werden können.

Betrachten wir die hier besprochenen Arbeiten im ganzen, so erkennen wir das ernste Streben, das äußere Erscheinungsbild der Tiere in seine Entstehungselemente aufzulösen. Man beginnt, sich von dem Begriffe der Vererbung bestimmter äußerlich sichtbarer Eigentümlichkeiten loszulösen. Der Phänotypus, die Gesamt-

gelber Haare. Arch. f. Entwicklungsmechanik der Organismen, Bd. 61, S. 337—382, 1922, behandelt diese Fragen ausführlich und zeigt, daß am erwachsenen Tier latente Farbanlagen experimentell sichtbar gemacht werden können. Ebenso gelingt es, wie in dieser Arbeit nachgewiesen wird, die so erkannten latenten Möglichkeiten der Farbenänderungen durch Bastardierung ans Tageslicht zu ziehen.

<sup>9)</sup> Eine neue Arbeit von *Walther Schultz*, Erzeugung von Winterschwarz. Willkürliche Schwärzung

heit der äußeren Eigenschaften und jede einzelne von diesen, wird in seine Bestandteile zu zerlegen versucht, und diese analytisch erhaltenen Bestandteile wiederum versucht man durch Klärung des Erbgangs synthetisch zum Ganzen zusammenzufügen. Das Morphologische ist die Grundlage, an welcher innere und äußere Einflüsse arbeiten. Eine beliebige Eigenschaft, etwa eine Färbung oder eine Zeichnungsform, wird nicht mehr als solche gegeben angesehen. Vielmehr wird sie mit Hilfe ihrer Varianten als Resultat verschiedener zeitlich und örtlich sich aneinander vorbeischiebender Faktoren erkannt, wie die Regeln der modernen Vererbungsforschung es lehren. Diese Regeln haben *Meirowsky* und *Leven* in ihren Arbeiten ausführlich dargelegt. Auf diese, den größten Teil der Arbeiten dieser beiden Autoren erfüllenden Darstellungen bin ich an dieser Stelle nicht eingegangen, denn sie sind in früheren Bänden der „Naturwissenschaften“ von den berufensten Autoren abgehandelt worden. Es erschien von größerer Wichtigkeit, die neuen Ergebnisse der besprochenen Arbeiten allein vorzuführen, da sie den Anfang ganz spezieller Erbforschung im Bereich der Tierwelt und des Menschen bilden, wie sie in so vertiefter Form noch nicht geboten worden sind. Es sind weniger Antworten gegeben als schwerlösbare Fragen gestellt worden, als Grundlage für fernere Klärung, als Vorläufer wichtiger Spezialuntersuchungen im Gebiete der *lebenden Materie*.

### Die wissenschaftliche Vogelfangstation im Biologischen Versuchsgarten zu Helgoland.

Von *Hugo Weigold, Helgoland.*

Wer zur Vogelzugszeit, am besten im April und Mai oder von August bis Oktober, den ragen- den roten Felsen weit draußen in der grünblauen Nordsee besucht, der kann des Interessanten die Fülle sehen und Eindrücke mit nach Hause nehmen, die ihm unvergeßlich bleiben werden — wenn er Natur- und Vogelfreund ist. Wenn er Glück hat, erlebt er eine der großartigen Vogel- nächte, wo Zehntausende von Vögeln wie Schneegestöber um den Leuchtturm schwirren. Und am Tage kann er so viele Vögel sehen und kennen lernen, wie auf dem Festlande oft in vielen Jahren nicht, darunter allerlei Spezialitäten aus dem Norden, Osten und Westen.

Auf Helgoland gibt es nur wenige Gärten mit soviel Pflanzenwuchs, daß die Vögel angelockt und zum Rasten verleitet werden. Der Bau der Festung und der Kasernen hat die Zahl noch verringert, die verbliebenen sind in Privathand, also nicht ohne weiteres, oft überhaupt nicht zugänglich. Dadurch wird die Kontrolle der auf dem Durchzug rastenden Vögel überaus erschwert. Als die Biologische Anstalt 1909 die Beobachtung

des Vogelzugs wieder aufnahm, wurde es infolgedessen bald genug klar, daß ohne einen eigenen Garten nicht viel anzufangen war. Auch dem Botaniker fehlte auf Helgoland ein geeigneter Garten zum Studium der Einwirkung des Inselklimas auf die Pflanzenwelt. 1911 gelang es denn auch, die Mittel zur Errichtung eines wissenschaftlichen Versuchsgartens zu bekommen. Als Platz kam nur eine langgestreckte Mulde auf dem Oberland, die helgoländisch „Sapskuhle“ heißt und die in fiskalischem Besitz war, in Frage. Dieser Garten ist 97 m lang und durchschnittlich 25 m breit. Ein 2 m hoher dichter Bretterzaun umwehrt ihn, um den einfallenden Vögeln Schutz vor Nachstellungen der zahllosen Jäger zu geben, dann aber hauptsächlich, um den Anpflanzungen Schutz vor dem Winde zu bieten.

Die Büsche sind nun am Boden der Mulde in V- oder Hufeisenform angelegt, mit der Spitze nach hinten, der vorherrschenden nordwestlichen Windrichtung entgegen. So sorgt schon der Sturm, daß die Büsche auf der konvexen Seite sich abdachen, niedriger und dichter werden, während sie auf der konkaven hoch und offen wachsen. Dieser Wuchsform hilft man künstlich nach.

Zum Besuch des Gartens haben wir einen schönen Tag, Ende Mai gewählt. In der Nacht hat ein leichter Südwest geweht, was besonders günstig für den Zug ist, aber deshalb noch nicht unbedingt reiches Vogelleben am folgenden Tage verbürgt. Dazu muß es — so wie heute — in der Nacht regnen oder es muß stürmen oder der Wind muß drehen, es müssen also Umstände eintreten, die die Vögel, die gerade unterwegs sind, überraschen und zur Rast veranlassen.

Schon außerhalb des Gartens sehen wir auf Gartenzäunen, Drähten und Geflügelställen allenthalben Steinschmätzer, Braunkehlchen, Gartenrotschwänze, Trauer- und graue Fliegenschnäpper und Laubsänger sitzen. Im Garten aber wimmelt es, alles kribbelt und flattert. Schwer ist es, alle diese Vögel anzusprechen, zumal die ziehenden Vögel nur selten etwas Gesang hören lassen. Versteckt lebende Vögel entgehen dem Auge, das abgelenkt ist von der Menge der offen umherhuschenden. Manche Arten lassen sich ja im Freien ohne Gesang in solcher Hast überhaupt nicht ansprechen. Ja, wenn man all das Gewimmel fangen und durch die Hand gehen lassen könnte!

Seit diesem Frühjahr können wir das. Da haben wir nämlich Fangeinrichtungen aufgebaut, die so einfach sind und dabei so gut arbeiten, daß man sich wundern muß, daß nicht schon längst ein ganzes Netz solcher wissenschaftlicher Fangstationen auf der Erde besteht. — Der Fang besteht einfach darin, daß man die Vögel in Reusen und Netze hineintreibt. Langsam und lautlos gehen wir im Garten nach hinten, höchstens klopfen wir gelegentlich auf die dichten Rosenbüsche.



Vor uns und vor den Vögeln tauchen auf einmal 3 m hohe senkrechte Wände aus engmaschigem Drahtgeflecht auf, das schwarz geteert ist, um möglichst wenig sichtbar zu sein. Auf dem Festland würde man sie vielleicht mit Schlingpflanzen überkleiden, die hier aber nicht gedeihen wollen. Diese Netzwände sind die Flügel eines V-förmigen Trichters, reichen quer über den Garten und sperren ihn fast völlig ab. Die Vögel prallen dagegen. Manche fliegen steil auf und entweichen, einzelne brechen seitwärts aus, aber die Hauptmenge wird vorwärts geleitet, wo der Trichter mit undurchsichtigem Buschwerk ausgefüllt ist. Dahinein stürzen sich die Vögel, ohne zu merken, daß hier schon auch von oben her eine Netzdecke beginnt. Hinter dem Busch laufen die Seitenwände rasch zusammen, die Decke senkt sich gleichzeitig, der Treiber stürmt nach und scheucht immer weiter in den Trichter hinein, dessen drei Wände sich nun ganz rasch zum Boden hin verfügen. Da, wo er nur noch einen halben Quadratmeter Durchmesser hat, senkt sich ein schräger Drahtvorhang fast bis auf die Erde herab, läßt aber selbst einer Schnepfe noch Platz zum Durchschlüpfen. Und wo der Trichter mit einem Durchmesser von einer Spanne im Quadrat endet, da ist ein Fallgatter angebracht, das man vom Eingang oder vom Innern des Trichters aus durch Wegziehen des Vorsteckstiftes mittels eines Zugdrahtes fallen lassen kann. Die nach oben strebenden Vögel werden so mit Gewalt zum Boden herabgezwungen und fahren nun schreckgejagt auf der anderen Seite dem Lichte zu aus der Spitze der Reuse heraus und in einen vorgesetzten ganz kleinen Käfig aus Drahtstäben hinein. Manchmal freilich stellt sich irgendeiner widerspenstig an und will nicht gleich, den muß man dann mit dem Stock scheuchen. Sind alle Vögel im „Konzentrationskäfig“, so fällt die Falltür.

Wir aber öffnen eine geheime Drahttür in der Seitenwand des Trichters und bergen die Vögel in einem von H. Grote erfundenen sehr praktischen Transportkäfig, einem Mehlsieb, das oben mit einer Tuchkrause eingefast und durch Zugschnüre verschließbar ist. Darin kann den Vögeln nichts mehr geschehen. Der geleerte wird wieder mit geöffneter Tür vor das Reusende gestellt und die Falltür wird wieder mit dem Vorsteckhölzchen fängisch gestellt. Alles ist damit wieder fertig für den nächsten Zulauf.

Hinter dieser, wie wir sahen, glänzend arbeitenden Fangreuse, die in allen Einzelheiten vom Verfasser erdacht und konstruiert worden ist, finden wir nun wieder Buschwerk. Auch das treiben wir durch auf den zweiten großen Fangapparat zu, den *Drosselbusch*, der nach altem Helgoländer System gebaut und nur in Einzelheiten verbessert ist. Dieser Busch liegt am Ende des langgestreckten Gartens. Da aber dort die Sohle der Mulde schon zu schmal ist, mußte er auf dem Hang angelegt werden und der Boden

im Busch steigt also an. Das ist nicht so günstig, denn die Vögel prallen dann leichter zurück. Auch hier sind die Hollunder- und Weißdornsträucher halbmondförmig gepflanzt, vorn durften sie so hoch wachsen, wie sie wollten, nach hinten aber sind sie dachartig schräg verschnitten und vom Wind geschoren. Diese ganze durch ständiges Beschneiden sehr dichte Außenseite ist mit engem Netz, in unserem Falle Drahtnetz, überzogen, das aber einen halben Meter über dem Boden aufhört. Hier wird ein Streifen Garnnetz angeheftet, das vom Rand des „Obernetzes“ schräg zum Rasen läuft und da mit seinem Saume breit aufliegt. Das Garnnetz hat solche Maschenweite, daß eine Drossel oder Schnepfe gerade den Kopf durchstecken kann, und soll möglichst unscheinbar gefärbt sein. Als Neuerung ist vom Verfasser eingeführt, daß über dem grobmaschigen Netz noch ein feinmaschiges zu liegen kommt.

In diesem Busch treiben wir nun die Vögel gerade so wie in die Trichterreuse hinein, aber es zeigt sich, daß viele Kleinvögel rechts und links ausbrechen und zurückprallen, nur Drosseln, Schnepfen, Rotkehlchen, also Vögel, die gewöhnlich am Boden laufen, hüpfen oder schlüpfen, suchen von vornherein am Boden, wo Licht ist, aus dem Busch zu schlüpfen. Dabei fahren sie aber unter das locker liegende Netz, stecken den Kopf durch die Maschen und verstricken sich auch zuweilen mit den Flügeln oder Beinen. Von innen her müssen wir so lange scheuchen, bis sie ordentlich festliegen. Das macht natürlich viel mehr Alarm als der neue lautlos arbeitende Trichterfang. Aber man kann am Ende auch hier die Vögel unversehrt uner dem Saum des Netzes hervorholen.

Ein dritter „Lauf-Drosselbusch“ vereinigt beide Fangprinzipien in sich, muß aber erst noch ausprobiert werden.

Die gefangenen Vögel werden dann gemessen (Flügelänge und Flugfläche), in einer tarierten Papierhülle gewogen und vor allem *beringt*. Die federleichten Fußringe sind aus Aluminium, bei größeren Vögeln auch zuweilen aus Duralumin, und tragen die Prägung: „ZOOLOG. STAT. (oder „BIOLOG“) HELGOLAND“ und eine laufende fünfstellige Nummer. Die erste Ziffer gibt immer die Ringgröße und somit die Serie an, ist also eine Kennziffer. Andere Beringungszentralen verwenden dafür einzelne Kennbuchstaben, die aber vom Finder und Melder des Ringes oft übersehen werden. Dies Beringen ist, abgesehen von den Wiederfinden auf den weiteren Wanderungen, schon darum nötig, um Wiederfänge am Ort von Neufängen zu unterscheiden. Färben der Vögel wäre dazu ja auch geeignet, ist aber sehr schwierig, wenn die Farbe wetterfest sein soll.

Das Beringen geht rasch und ohne große Beruhigung des Vogels in sich. Mit einem scharfen Ruck drehen wir die Hand so herum, daß der Vogel plötzlich auf dem Rücken liegt.

Die meisten Vögel liegen dann wie erstarrt infolge einer Störung ihres Gleichgewichtsorgans. Man spricht von dieser Erscheinung oft als tierischer Hypnose. In aller Ruhe können wir nun dem Vogel einen passenden Ring um das Beinchen legen, evtl. mit Hilfe einer kleinen Zange. Da die Vögel, außer manchen Würgern und Meisen, die Ringe gar nicht beachten, so erübrigt sich für die meisten auch eine Sicherungsschlaufe, zumal bei den Kleinvögeln, wo man die Ringe einfach übereinander biegt, bis sie passen, sich aber am Lauf noch auf- und abschieben lassen.

Der Vogel ist inzwischen gewöhnlich wieder lebhaft geworden und fliegt, freigelassen, munter davon, wobei er in seiner Aufregung öfters sofort ein wenig singt. Gesang als Zeichen der Aufregung habe ich auch an Ortolanen und Baumpiepern auf den Galerien des Leuchtturmes am Morgen beobachtet.

Oft wird gefragt, wozu wir wiegen und messen. Das erste, weil es bisher meist vernachlässigt worden ist, obgleich das Gewicht die Größe oft besser kennzeichnet als jedes andere Maß und zusammen mit der Flugfläche eine wichtige Unterlage für flugtechnische Fragen ergibt. Das zweite erstens, um bei den Vögeln, bei denen man Männchen und Weibchen nicht nach dem Aussehen bestimmen kann, die Geschlechter nach dem Flügelmaß zu bestimmen, denn die Weibchen haben im Durchschnitt kürzere Flügel. Wenn also etwa im Herbst anfangs Vögel mit kürzeren Flügeln kommen und am Ende solche mit längeren, so kann man daraus sehen, daß die Männchen zuletzt ziehen. Im Frühjahr ist es gewöhnlich umgekehrt. Zweitens kann man damit Rassenforschung treiben; bei manchen Arten kann man ja die geographischen Formen schon in der Färbung unterscheiden, wie bei den Schafstelzen an der Kopffärbung der Männchen, bei anderen aber hauptsächlich nur an der Größe, deren bestes Maß eben die Flügellänge ist. Vor allem haben zuweilen die Vögel einer und derselben Art in verschiedenen Ländern verschieden lange Flügel, und zwar die nordischen, die am weitesten zu wandern haben, die längsten. Z. B. kann man die Steinschmätzer von Grönland an ihrer Größe leicht unterscheiden von denen Europas. Die von Island haben naturgemäß mittlere Maße. Solche Untersuchungen wurden bisher nur an erlegten Exemplaren gemacht. Da aber zu sicheren Resultaten größere Serien gehören, kam mancher Gelehrte in Gewissenskonflikt, denn fast immer ist ein Vogelkenner doch auch Vogelfreund und sieht sein Studienobjekt nicht bloß als totes Material an. Die neue Möglichkeit, die meine Trichterreuse bietet, kann natürlich das Balgstudium nicht ersetzen, aber vorzüglich ergänzen und ohne Vogelopfer größere Sicherheit herbeischaffen. Für alle außerhalb von Museen mögliche Untersuchungen und zur Bestimmung sonst nicht anzusprechender Arten brauche ich jetzt jedenfalls

keinen Vogel mehr zu töten, der sich fangen läßt. Wie sollte ich sonst z. B. die nordöstlichen Rassen unserer beiden häufigsten Laubsänger sicher erkennen, die nur ein wenig blasser sind, ohne ganze Serien zu schießen? Wie überhaupt beide Arten unterscheiden, wenn sie nicht singen? Das einzige sichere Merkmal ist ja das Schwingenverhältnis. Gerade so läßt sich jetzt authentisches Material beibringen über den Zug von Teich- und Sumpfrohrsänger, die so versteckt leben, daß man sie überhaupt selten sieht und wenn, dann doch noch schwerer unterscheiden kann als Sprosser und Nachtigall, wenn sie nicht singen, und den Gefallen tun sie dem Forscher auf dem Zuge eben selten. Oder die Blaukehlchen: im April 1922 fand ich in der Reuse ein weißsterniges Blaukehlchen vor, die deutsche Art, die auf Helgoland sehr selten ist im Gegensatz zur häufigen nordischen rotsternigen. Schwerlich würde ich das einzelne Exemplar bemerkt haben, da mir täglich nur eine kurze Zeit zu Beobachtungen zur Verfügung steht. So fördert dieser neue Fangapparat gar manches Verborgene ans Licht der Forschung. Und lebendes Material bekommen wir hier soviel, wie wir brauchen, soviel, wie wir in den Museen auch tot nicht vorfinden könnten.

Oft fangen wir einzelne schon beringte Vögel wiederholt. Fang ich doch einmal sogar eine eben freigelassene Ringdrossel gleich wieder. Das erlaubt den Rückschluß, daß die ganze Aufregung gar nicht so schlimm ist, auch kann man hieraus auf die Intelligenz der verschiedenen Arten schließen. Manche lassen sich dreimal am selben Tage und Tag für Tag wieder fangen, Rotkehlchen z. B. Das gibt wiederum gute Gelegenheit, festzustellen, wie lange die Vögel hier rasten (zuweilen eine Woche, meist aber ganz kurze Zeit), und ob der Vogelbestand tagsüber sich fortwährend ändert oder nicht, ob also noch immer, sonst unbemerkbar, Kommen und Gehen, also Zug vor sich geht. Ohne die Kennzeichnung der Individuen fiel das weg, denn dann wüßte man ja gar nicht, wievielmals man dieselben Vögel vor sich hat. So aber ermöglicht unser Versuchsgarten regelrechte *qualitative und quantitative Analysen* der täglichen Zugvogelwelt, soweit sie die Gärten aufsucht. Schaf- und Bachstelzen, Lerchen und Wiesenpieper fängt man natürlich auf diese Weise nicht und Stein- und Wiesen- schmätzer nur selten. Trotzdem ist das Ganze zweifellos ein großer Fortschritt in der Vogelzugforschung, nur sollte er voll ausgenutzt werden können. Dazu müßte man viel mehr Zeit oder aber Hilfe haben. Wenn man bedenkt, daß die großen Vogelfanggärten in Oberitalien, die nur für den Magen fangen, ebenfalls ein unendlich wertvolles Material im Laufe der Jahrhunderte hätten beibringen können, dann sieht man erst, wieviel an der europäischen Vogelwelt gesündigt und wie wenig an ihr studiert worden



ist. Auch hier auf Helgoland werden die großen Möglichkeiten zu wissenschaftlichen Untersuchungen physiologischer und anatomischer Art an lebendem oder frisch konserviertem Vogelmaterial zurzeit von den Fachspezialisten noch kaum ausgenützt. Bisher wurden hier nur Trypanosomen- und Serumstudien gemacht.

Und welche Möglichkeiten zur Klärung des Vogelzuges eröffnet diese erste wissenschaftliche Fangstation, wenn sie bald Nachfolger findet! Vorläufig ist man auf den Zufall angewiesen, wenn man einen der Ringvögel zurückgemeldet bekommen will. Bei Jagdvögeln ist der Prozentsatz ja noch ziemlich hoch (2 bis 30 %), aber bei Kleinvögeln hat man selten Glück, weil ihre Fänger in Italien, Südfrankreich, Spanien, Portugal und Kleinafrika teils zu ungebildet sind, teils ein schlechtes Gewissen haben und darum nicht schreiben. Wenn man nun aber solche wissenschaftliche Fangstationen, wenn auch nur mit je einer Trichterreuse an verschiedenen, dazu vorbestimmten Stellen an bekannten Raststationen, z. B. an allen den Inseln, deren Leuchttürme sich als besonders anziehungskräftig erwiesen haben, aber auch an guten Binnenlandsstellen, in streng verschlossenen Gärten zur Verfügung hätte, die allein ernsten Naturforschern mit ministerieller Fangerlaubnis zugänglich wären, dann müßte man doch wunderbare Aufschlüsse über den Vogelzug erhalten. Mit der Zeit müßten ja Wiederfänge beringter Kleinvögel zutage kommen und das müßte Aufklärung über deren Wege geben, über die man vielfach noch gar nichts Sicheres weiß. Auch würden wir positive Auskunft erhalten, ob derselbe Weg jedes Jahr benutzt wird. Das wurde hier schon einmal für dieselbe, das andere Mal für die andere Zugzeit an Drosseln nachgewiesen, aber das ist höchstwahrscheinlich durchaus keine allgemeine Regel. Wenn es das Glück will, kann ein Ringvogel sogar wiederholt an verschiedenen Stellen gefangen werden. Ferner wird sich die Geschwindigkeit des Zuges ergeben. Auch die Variabilität der Zugzeit kann festgestellt werden. Wurde hier doch einmal durch Beringung bei einer Schnepfe nachgewiesen, daß sie in einem Jahre einen vollen Monat später gezogen war als im anderen, was dann sehr schöne Zusammenhänge mit dem Wetter aufdeckte. Auch können jetzt Experimente über die Orientierungs- und Instinktp Probleme leichter gemacht werden, da die Fangstationen leicht Hunderte von Zugvögeln unversehrt zu Verpflanzungszwecken liefern würden. Allerdings würde man da vorteilhaft Flugzeuge zum raschen Transport verwenden, da sonst die Wildfänge, die sich nicht füttern lassen, auf langsamem Transport zu sehr leiden würden, um noch einwandfreies Versuchsmaterial abzugeben.

Damit sind aber die Möglichkeiten noch immer nicht erschöpft. Der Amerikaner *Prentiss Baldwin* hat in Reusenkäfigen, die am Boden stehen und beködert werden und eigentlich zur Vernichtung der Sperlinge dienen sollen, im

Binnenlande manche Vögel Dutzende von Malen wiedergefangen und dabei zum ersten Male durch Beringung nachgewiesen, daß unter den nordischen Gästen seines Gartens die gleichen Individuen Jahr für Jahr vertreten waren, daß also auch das Winterquartier in diesem Fall ebenso eng begrenzt war und streng eingehalten wurde, wie es gewöhnlich beim Brutplatz der Fall ist. Natürlich darf man auch dieses überraschende, überaus wichtige Ergebnis, das nur durch den Ringversuch möglich war, nicht verallgemeinern. Andere Arten werden sich eben wieder anders verhalten. *Baldwin* hat nur diejenigen Vogelarten gefangen, die sich durch Futter anlocken lassen, was natürlich in meinem Fang auch möglich ist, aber bei mir kommen viel mehr Arten in Frage, und außer für Körnerfresser ist das Ködern gar nicht nötig.

Wenn man eine Fangstation an Orten hat, wo es Brutvögel gibt, so kann man aus oft wiederholten Fängen desselben Exemplars allerlei über die Intimitäten des Lebens der Vögel herauslesen. Auch da hat *Prentiss Baldwin* ein gutes Beispiel gegeben. An den Brutvögeln seiner Nistkästen hat er ganze Stammbäume und Standesamtsregister aufstellen können, wie man sie sonst nur bei Züchtern edler Rassetiere findet. Da gab es bei einer Art Individuen, die sich bei der zweiten Brut jedesmal eine andere Gattin suchten — *Baldwin* nennt sie scherzend „divorce-wrens“ — Scheidungs-Zaunkönige —, während andere Dauerehen hatten. Inzuchtehen gab es ebenso wohl wie Blutmischung, kurz es herrschte größte Mannigfaltigkeit, ganz anders als der Mensch in seinem ewigen Drange, zu schematisieren und zu verallgemeinern, es sich gedacht hatte. Solche Feststellungen lassen sich nun an Freibrütern natürlich viel schwerer machen, aber die Trichterreuse wird auch da teilweise helfen. Die Vögel lassen sich ja, wie *Baldwin* tausendfältig gezeigt hat, bei weitaus den meisten Arten wenigstens durch häufiges Fangen gar nicht beirren.

Vor allem aber wird sich aus den Fanganalysen einer solchen Station eine Fülle von phänologischen Material über den Durchzug der Vögel ergeben, wie es bisher in gleicher Exaktheit undenkbar war, und das, ohne daß ein einziger Vogel darum getötet werden braucht. Natürlich bekommen dann auch die ergänzenden Feldbeobachtungen einen ganz anderen Wert als bisher.

Neuerdings hat übrigens die Biological Survey des Agricultural Department in den Ver. Staaten den Beringungsdienst nach *Baldwins* Beispiel mit 300 Helfern aufgenommen, die fast alle Vögel fangen, aber leider noch nicht mit dem Helgoländer System, sondern bisher nur mit dem einseitigen Ködersystem. Man sollte stets Helgoländer Reusen bauen und darin auch ködern.

Fangstationen dieser Art müßten vor allem auch in Oasen, wo sich Massen von Zugvögeln zur Rast einfinden, wunderbare wissenschaftliche Ergebnisse zeitigen. Ich wünschte, ich hätte eine in Mesopotamien, in Nordchina, in Marokko ge-

habt. Überhaupt wird ein Europäer, der in wenig erforschem Land ansässig ist, ohne Mühe ganz unerhörte Erfolge erzielen können, wenn er an einem günstigen Platze, etwa auf einer Zugbahn oder eben in einer Oase wohnt, einfach dadurch, daß er in seinem Garten eine Anlage wie die Helgoländer schafft und dann täglich einige Male durchtreibt. Ich denke dabei z. B. an Konsul Streichs Arbeit: „Die Vögel meines Gartens in Swatau“ (Südchina). Wieviel reicher wäre seine Ausbeute, die schon mit der Flinte so groß war, dann gewesen! Es wäre auch eine dankenswerte Aufgabe für eine Fallenfabrik, meine Trichterreuse zerlegbar und mit Garn- statt Drahtnetzen zu konstruieren für solche Forschungen im Auslande, die Standquartiere benutzen, aber natürlich unmöglich stationäre Anlagen errichten können. Man kann ja oft durch teilweises Fällen natürliches Buschwerk oder Anpflanzungen dazu anpassen oder sich mit abgehauenen frischen Ästen das nötige Buschwerk konstruieren. Immer wird man den Vorteil haben, statt einzelner geschossener Exemplare ganze Mengen in die Hand zu bekommen. Viele Arten, die man mit der Flinte in den Dschungeln und Dickichten nur sehr schwer bekommen kann, wird man gerade erst recht fangen. Man bekommt also eine überaus wertvolle Berichtigung des gerade in solcher Umgebung höchst mangelhaften Augenscheins und zum Präparieren kann man sich aus reichem Material das Beste aussuchen. Nach meinen nicht unbedeutenden Erfahrungen auf Expeditionen glaube ich, daß sich der Transport des Apparates, der sich wahrscheinlich bei Benutzung von Stangen aus der Umgebung auf eine einzige Trägerlast konzentrieren läßt, sehr lohnen würde.

So wird also in Zukunft der neue Fangapparat nicht nur in fernen Ländern gerade das Verborgenste hervorzaubern helfen, sondern er wird auch eine Fülle von phänologischem Material liefern können, ohne daß dazu ein Vogel getötet zu werden braucht. Die Zukunft muß uns neben einem internationalen Vogelschutzgesetz auch ein internationales Netz von Vogelwarten mit Fangstationen bringen, die am besten von einer internationalen Organisation (entsprechend der Internationalen Meeresforschung!) aller ornithologischen und Vogelschutzverbände — etwa einer „Internationalen Vogelschutz- und -Forschungs-Liga“ — im Verein mit ihren Regierungen unterhalten und geleitet werden müßten. Die Welt der Zugvögel ist nun einmal international, also muß auch ihr Schutz und die Erforschung ihres Zuges international sein. Gärten werden sich überall finden lassen, die zu diesem Zweck zur Verfügung gestellt oder von begeisterten Freunden der Sache angelegt werden können. Die Pflanzen werden sicher gestiftet werden wie die in unserem Versuchsgarten, das Material zu den Fangapparaten stiften vielleicht auch anderswo im Notfall die Fabriken, wie sie es auf Helgoland der Wissenschaft gestiftet haben<sup>4)</sup>, und der Aufbau muß eben — wenn durchaus keine Geldmittel auf-

zutreiben sind — von den Jüngern der Wissenschaft selber geleistet werden, wie es auf Helgoland durch den Verfasser selber mit Hilfe etlicher uneigennütziger Helfer, Akademiker an der Seite von Arbeitern, geschehen ist. Also viel zu kosten brauchen solche Fangstationen nicht. Nur eins muß mit allem Nachdrucke betont werden: dazu ist meine Trichterreuse nicht erfunden worden, daß man sie wie eine italienische Fangeinrichtung zum Vogelmord benutzt. Im Gegenteil soll sie sogar der Wissenschaft mit geringeren Vogelopfern größere Aufschlüsse ermöglichen, als man sie bisher auf dem allein möglichen Wege der Balgsammlungen erreichen konnte.

## Der Aufbau metallisch leitender Stoffe.

Ch. A. Kraus gibt in einem zusammenfassenden Aufsatz (Journ. Am. Chem. Soc. 44, 1216, 1922) interessante Rückblicke auf seine experimentellen Arbeiten, die sich auf *metallisch leitende Lösungen* in flüssigem  $\text{NH}_3$  beziehen. Natrium- und Kaliummetall lösen sich in flüssigem Ammoniak sehr reichlich; bei niedrigen Konzentrationen des Metalls tragen die Lösungen ganz den Charakter von elektrolytischen Lösungen, wie man sie z. B. durch Auflösung von Salzen, wie  $\text{KCl}$  oder  $\text{AgJ}$ , in flüssigem  $\text{NH}_3$  erhält. Bei höherer Konzentration wächst aber die spezifische Leitfähigkeit dieser Lösungen teilweise enorm rasch an und bei Sättigung, die bei 1 Mol Na bzw. K auf 5,4 bzw. 4,9 Mol  $\text{NH}_3$  eintritt, wird ein Wert erreicht (bei  $-33,5^\circ$ :  $\kappa = 5,05 \cdot 10^4$  bzw.  $4,57 \cdot 10^4$ ), der die Größenordnung der Leitfähigkeit des Quecksilbers hat; auch sonst sind alle Anzeichen der *metallischen* Leitfähigkeit vorhanden. In diesen Systemen ist also ein stetiger Übergang von Ionenleitung zu Elektronenleitung realisiert, die metallische Leitfähigkeit ist Funktion der Konzentration des Metalls. — Kraus betont zunächst, wie notwendig ein Studium des metallischen Zustands besonders vom chemischen Standpunkt aus noch ist und sucht aus möglichst allgemeinen Ansichten wesentliche Gesichtspunkte für den Zusammenhang zwischen metallischem Zustand und chemischem Aufbau zu gewinnen.

Metallischer Charakter ist geknüpft an das Vorhandensein besonders *beweglicher Elektronen*; er wird also in allen Substanzen fehlen, in denen (elektronegative) Elemente vorkommen, die mit Elektronen zu stabilen Komplexen zusammentreten. Andererseits gibt es (elektropositive) Elemente und Atomgruppen, die unter Abgabe von Elektronen in beständige chemische Einheiten übergehen können, und in einem zusammengesetzten System ist der metallische Charakter davon abhängig, welche dieser Tendenzen vorherrscht. Verbindungen aus stark elektropositiven und stark elektronegativen Bestandteilen werden ausgesprochen nicht metallisch, salzartig sein. Dagegen können solche aus stark elektronegativen und nur schwach elektropositiven Elementen deutliche Abweichungen vom Salzcharakter zeigen usw. — Weiter ist der Zustand einer Substanz wesentlich abhängig von äußeren Bedingungen.

<sup>4)</sup> Ohne die freigebige Unterstützung der Firmen: Mech. Netzfabrik in Itzehoe, Neuwalzwerk Börsperde, Drahtweberei H. Giesen jr. Sohn in Berg. Gladbach und „Phoenix“ in Hamm wäre der Aufbau der Helgoländer Fangstation gar nicht möglich gewesen. Auch hier sei ihnen gedankt.



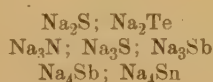
gen. Hg-Dampf, auch bei großer Dichte und hoher Temperatur, ist praktisch Nichtleiter. Außer dem Aggregatzustand wird aber z. B. bei Elektrolyten der Zustand wesentlich gekennzeichnet durch den Wechsel der *Konzentration* und des *Lösungsmittels*. Diese Einflüsse auch für metallische Substanzen zu studieren ist erst möglich geworden dadurch, daß für sie ein *nicht metallisches, geeignetes Lösungsmittel*, wie z. B. flüssiges Ammoniak, aufgefunden wurde. Besonders wichtig ist dies deshalb, weil im kondensierten (besonders festen) Zustand die Atome unter dem Einfluß äußerst starker Wechselwirkung stehen; erst das Studium sehr verdünnter Lösungen, wo eine solche Wechselwirkung auf beliebig geringe Intensität verringert werden kann, wird die Eigenschaften der Atome ohne störende Nebeneinflüsse klar hervortreten lassen. Im Fall eines stark elektropositiven Elementes wird man also folgendes erwarten: bei *niedrigen* Konzentrationen und wenn keine anderen Substanzen zugegen sind, wird das Atom einen neutralen Komplex ohne metallische Eigenschaften darstellen. In einem ionisierenden Mittel dagegen wird das Atom in: Ion + Elektron dissoziieren, wenn auch bei niedrigen Konzentrationen das Elektron an die Lösungsmittelmoleküle gebunden sein kann und so seine „Beweglichkeit“, wie sie im metallischen Zustand vorhanden ist, nicht besitzt. Solche verdünnte Metallösungen ähneln also Salzlösungen. Sind die Komplexe: Elektron + Lösungsmittel beständig, dann behält die Lösung Salzcharakter; sind sie es nicht, dann wird bei steigender Metallkonzentration ein immer fühlbarer Überschuß an Elektronen sich bemerkbar machen, die mit ihrer größeren Beweglichkeit der Lösung den metallischen Charakter verleihen können.

Welche Elemente und Gruppen sind fähig, beständige Komplexe mit Elektronen zu bilden? Diese Frage, die für das Verständnis chemischer Bindungen von grundlegender Bedeutung ist, kann also durch das Studium der Lösungen von Metallen und Metallverbindungen auf einem neuen experimentellen Wege angegriffen werden. Insbesondere wird der Zerfall von Metallverbindungen in dieser Lösung Rückschlüsse auf die Art der Bindung in Metallverbindungen zulassen, ähnlich wie man aus der Natur der Salzlösungen auf die Bindung der Salzbestandteile auch im reinen Stoff Schlüsse ziehen kann. Insbesondere ist es für die Auffassung der Metallverbindungen wichtig zu prüfen, ob *Metallatome* in solchen Verbindungen auch *Elektronen* austauschen, d. h. ob auch diese Verbindungen — wie dies für Salze jetzt allgemein gilt — *polar*, salzähnlich aufgebaut sind. Hingewiesen kann hier auf die Hydride der Alkalimetalle werden, LiH, NaH usw., die salzartige Verbindungen sind. *Kraus* bemerkt weiter, daß zwar Verbindungen stark elektropositiver Elemente mit S, Se, Te nichtmetallisch sind, dagegen die mit As, Sb, Bi. Je höher das Atomgewicht eines Elementes und je weiter es von der siebenten Gruppe (Halogene) ab liegt, desto ausgeprägter erscheint der metallische Charakter seiner Verbindung mit einem Alkalimetall. Reihen zunehmenden metallischen Charakters sind z. B.:

Alkali — Phosphor < Alkali — Antimon

Alkali — Wismut < Alkali — Quecksilber.

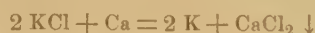
Trotz dieses Wechsels des Charakters sind aber die *Verbindungstypen genau dieselben*; dies zeigen die Reihen:



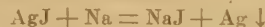
Gerade diese Verbindungen sind alle durch Beständigkeit (ersichtlich aus Schmelzdiagrammen) und größere Bildungswärmen ausgezeichnet. Die Frage, ob hier in den Verbindungen das elektronegative Element als *Ion* vorhanden ist, konnte zwar noch nicht endgültig gelöst werden; immerhin erscheint es bei der Analogie der Verbindungstypen als nicht unwahrscheinlich, und das Verhalten der Lösungen in flüssigem  $\text{NH}_3$  bestätigt diese Vermutung (s. u.).

Zuvor soll aber noch die auffallende Tatsache besprochen werden, daß in vielen Metallverbindungen die stöchiometrischen Verhältnisse der Komponenten sehr weit von den einfachsten abweichen, so daß eine sehr große Zahl von Verbindungen auftritt. Na und Sn bilden z. B.:  $\text{Na}_4\text{Sn}$ ,  $\text{Na}_2\text{Sn}$ ,  $\text{Na}_4\text{Sn}_3$ ,  $\text{NaSn}$  und  $\text{NaSn}_2$ . *Kraus* erinnert an die Möglichkeit, daß hier *Komplexionen* vorhanden sein können, die bekanntlich bei elektronegativen Elementen äußerst häufig sind ( $\text{NO}_3'$ ,  $\text{ClO}_4'$  usw.,  $\text{N}_3'$ ,  $\text{J}_3'$ ,  $\text{S}_x'$  ( $x = 2$  bis 6),  $\text{Te}_x'$  usw.). Auch reine Elemente könnten aus zweierlei Ionen bestehen, die durch verschiedenartige Selbstkomplexbildung der Atome zustande gekommen sein können; gerade für Elemente mit weniger ausgeprägtem polaren Verhalten käme ein solcher Aufbau wohl in Frage.

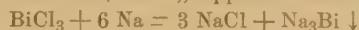
Außer dem schon oben Gesagten ist aus dem *Tatsachenmaterial*, das die Erforschung der ammoniakalischen Metallösungen zutage gefördert hat und das für die Beurteilung der erörterten Fragen von Belang ist, folgendes hervorzuheben: Schon die Leitfähigkeitskurve der verdünnten Lösungen der *Metalle* weist auf ein Dissoziationsgleichgewicht in der Lösung hin, das dem eines Salzes entspricht; noch deutlicher wird dies aber bewiesen durch Reaktionen zwischen gelösten Metallen und Salzen, die ganz wie Ionenreaktionen in wäbriger Lösung vor sich gehen; so fällt bei der Reaktion:



das Salz aus; bei der Reaktion:



fällt das Metall aus; der „doppelte Umsatz“:



endet ebenso mit der Ausfällung des schwerstlöslichen Produktes, der Verbindung  $\text{Na}_3\text{Bi}$ . — Konzentrierte Lösungen der Metalle enthalten eine quantitative noch nicht geschätzte Menge „freier“, d. h. metallisch leitender Elektronen.

Von *Metallverbindungen* sind in flüssigem  $\text{NH}_3$  löslich viele Verbindungen der Alkalimetalle mit Schwermetallen der 4., 5. und 6. Gruppe; diese Lösungen sind charakteristisch tief gefärbt, zeigen aber — außer vielleicht bei extrem hohen Konzentrationen — *keine* „metallischen“ Eigenschaften. Der Lösungsvorgang der Verbindungen ist von keinem beträchtlichen Energieeffekt begleitet und ein Schluß von der Zusammensetzung der Lösung auf die der reinen festen Verbindung scheint hier nicht zu gewagt. Es fragt sich, ob diese Lösungen elektrolytischen Charakter tragen. Hierfür sprechen eine Reihe von Tatsachen. Man hat z. B. an Natriumbleilösungen Elektrolysen ausgeführt, wobei Pb an der Anode abgeschieden wurde, in etwa dem entsprechenden Verhältnis; auch Sb wurde aus ähnlichen Lösungen an der Anode erhalten. Die Zusammensetzung bestimmter Komplexe wurde an Lösungen von Natrium-Tellur, Natrium-Antimon und Natrium-Blei eingehender studiert.

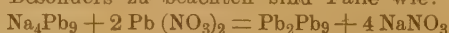
Fügt man z. B. zu ammoniakalischer Natriumlösung Tellur, so bildet sich zuerst die in  $\text{NH}_3$  schwerlösliche Verbindung  $\text{Na}_2\text{Te}$ , als weißer, kristallinischer



(nichtmetallischer) Niederschlag. Mit mehr Te entsteht zunächst  $\text{Na}_2\text{Te}_2$ , eine in  $\text{NH}_3$  unter intensiver Färbung sehr lösliche, im reinen Zustand (gefällt) metallisch aussehende Substanz. Weiter ist noch  $\text{Na}_2\text{Te}_4$  beobachtet, auch metallisch, mit tieferer  $\text{NH}_3$ -Lösung. An komplexen Anionen wurde folgende Reihe (durch Molekulargewichtsbestimmungen) sichergestellt:  $\text{Te}^{--}$ ,  $\text{Te}_2^{--}$ ,  $\text{Te}_4^{--}$ ; sie scheint der des Schwefels in wäßriger Lösung ähnlich zu sein. Was das System Na-Sb betrifft, so ist schon  $\text{Na}_3\text{Sb}$ , die zuerst auffallende Verbindung, metallischen Charakters; ein Überschuß von Sb löst auch diese Verbindung auf; genauere Angaben fehlen noch, auch über komplexe Sb-Anionen. — Auch im System Na-Pb fehlt noch eine durchsichtige chemische Deutung der Tatsachen, doch kennt man  $\text{Na}_4\text{Pb}$  und kann eine Verbindung wie  $\text{Na}_4\text{Pb} \cdot \text{Pb}_8$  vermuten. — Zusammenfassend kann man sagen, daß diese Lösungen denen komplexer Salze in hohem Grade ähneln. Zugleich sieht man, wie der Eintritt mehrerer Atome des elektronegativen Bestandteils im Fall der Telluride den metallischen Charakter der Verbindung verstärkt, ohne daß im Verbindungstypus eine Änderung eingetreten wäre. —

Interessant sind noch einige Beispiele für Reaktionen metallischer Verbindungen in flüssigem  $\text{NH}_3$ , die vollkommen analog denen von Elektrolyten in wäßriger Lösung verlaufen; z. B.

$\text{Na}_2\text{Pb} + \text{Cd}(\text{NO}_3)_2 = 2\text{NaNO}_3 (\text{gelöst}) + \text{CdPb}_x (\text{fällt aus})$   
 $\text{K}_2\text{Pb} + \text{Ca} = 2\text{K} (\text{gelöst}) + \text{CaPb} (\text{fällt aus})$   
 $\text{NaPb}_x + \text{NH}_4\text{J} = \text{NaJ} (\text{gelöst}) + \text{NH}_4\text{Pb}_x$   
 Die letzte Verbindung zersetzt sich in  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$  und Pb. — Besonders zu beachten sind Fälle wie:



Hier treten zwei Ionen zusammen, die aus lauter gleichen Atomen bestehen; die Existenz ähnlicher Komplexe in reinen Elementen kann also als wahrscheinlich gelten, wofür ja auch die hohen Molekulargewichte der Dämpfe von Se, Te, As und Sb sprechen. (M. E. ist hier ein Hinweis notwendig, daß solche Fragen auch durch Röntgenanalyse fester Stoffe prinzipiell lösbar sind.) Stimmt man einer Komplexstruktur reiner Elemente zu, so gewinnt die Frage an Bedeutung, ob die Differenzen der spezifischen Leitfähigkeiten der Elemente — außer von der verschiedenen Beweglichkeit der Elektronen — nicht auch davon herrühren können, daß die Zahl verfügbarer Elektronen pro Gramm äquivalent durch solche Komplexbildung entsprechend herabgesetzt ist. Eine Tafel der Äquivalentleitfähigkeiten der wichtigsten metallischen Elemente zeigt wirklich einen Parallelismus zwischen Komplexbildungstendenz und Äquivalentwiderstand (Sn, Pb, Sb, As, Hg, Bi).

Kann man mit der Ansicht von der polaren Natur der Metallverbindungen ihre sonstigen Eigenschaften in Einklang bringen? a) Die große Zahl von Verbindungen zweier Metalle kann durch die — in flüssigem  $\text{NH}_3$  sicher festgestellte — Komplexität von Anionen (evtl. auch von Kationen) erklärt werden. Im festen Zustand können oft Verbindungen auftreten, deren Komplexe in Lösung praktisch vollständig dissoziiert sind (Beispiel: Na-K bilden eine Verbindung, wovon aber die Löslichkeitskurven in  $\text{NH}_3$  nichts erkennen lassen). b) Die Leitfähigkeit von festen Metallverbindungen ist immer niedriger als die der besser leitenden reinen Substanz und oft niedriger als die beider Komponenten. Besonders gering sind die Werte, wenn der

eine Bestandteil ein elektronegatives Element ist, S oder O; immerhin sind diese Stoffe zweifellos metallische Leiter ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeS}$ ,  $\text{CuS}$  usw.), deren salzähnlicher Aufbau andererseits feststeht. Auch der oft verwickelte Temperatureinfluß auf die Leitfähigkeit der variablen Leiter kann von dieser Ansicht umfaßt werden. c) Mechanische Eigenschaften. Während typische reine Metalle duktil sind, sind typische Salze meist hart und spröde. Die Metallverbindungen ähneln auch hierin mehr den Salzen. Auch die mehr elektronegativen metallischen Elemente zeigen dies Verhalten und deuten damit die oben erwähnte komplexe Struktur an. d) Die Bildungswärmen metallischer Verbindungen — soweit eine Übersicht über das noch sehr lückenhafte Material erkennen läßt — sind häufig von derselben Größenordnung wie die von Salzen (für  $\text{Mg}_2\text{Al}_3$ : 164,8 Kal.,  $\text{CaZn}_2$ : 55,8 Kal. usw.).

Scheint so einerseits der Aufbau einer Anzahl metallischer Verbindungen vom Aufbau salzartiger Verbindungen prinzipiell nicht verschieden zu sein, so gibt es andererseits eine Reihe von Verbindungen — auch solcher, die aus lauter Nichtmetallen bestehen —, die Elektronen enthalten, die nicht mit elektronegativen Gruppen verbunden sind und metallische Beweglichkeit zeigen. Es hängt dies mit der Bindung der Elektronen in den äußersten Atomzonen zusammen; da aber die Stärke dieser Bindung sehr stark davon abhängt, welche anderen Atome mit ihm verbunden sind, ist die Stärke des metallischen Charakters durch alle Teilnehmer des betrachteten Komplexes bedingt; d. h. der metallische Charakter ist keine Atomeigenschaft (wie z. B. Masse, Hochfrequenzspektrum), sondern eine Äußerung bestimmter Bindungsverhältnisse äußerer Elektronen.

Der einfachste Vertreter einer nichtsalzartigen metallischen Verbindung ist die Ammoniumgruppe, die aber im freien Zustand nicht dargestellt werden konnte, wenn auch ihr Amalgam ihre relative Beständigkeit beweist. Hochsubstituierte Ammoniumgruppen bilden feste Verbindungen mit Hg; sie liefern blaue Lösungen in flüssigem  $\text{NH}_3$ , die den Alkalimetallösungen aufs äußerste ähnlich sind. — Organische Radikale sind weitere Beispiele, worin an C, N, S z. B. nur noch rein organische Reste gebunden sind. — Übergänge zwischen den zweierlei Formen von Verbindungen finden sich auch bei organischen Quecksilberverbindungen; die Elektrolyse des sehr beständigen (salzartigen) Typus  $\text{RHgX}$  (wo X ein Anion) liefert die freie Gruppe  $\text{RHg}$ ; alle diese, bis  $\text{CaH}_2\text{Hg}$ , sind echt metallische Stoffe. An diesem Beispiel wird besonders deutlich, daß der Übergang des verfügbar gewordenen Valenzelektrons dem Radikal metallischen Charakter verleiht. (Kraus bemerkt ausdrücklich, daß man nicht alle Verbindungstypen durch das Bild eines Elektronenaustausches darstellen kann.) Als letztes Beispiel nichtsalzartiger Verbindungen wird erwähnt der Typus  $\text{Ca}(\text{NH}_3)_6$ ; er ähnelt in allem sehr den konzentrierten ammoniakalischen Lösungen der entsprechenden Metalle. — Schließlich wird die Ergänzung des experimentellen Materials angekündigt, so daß zu hoffen ist, daß uns auf diesem höchst interessanten Weg weitere Einblicke in die chemischen Bedingungen des metallischen Zustandes zuteil werden und daß die sichere Beurteilung der in Metallverbindungen wirksamen Kräfte durch den Ausbau dieses Sondergebietes eine willkommene Erleichterung erfährt.

L. Ebert, Würzburg.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 45. (Seite 967—982)

10. November 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

J. C. Kapteyn und sein astronomisches Werk. Von *A. Pannekoek, Amsterdam*. S. 967.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Der Streit um das Elektron. Bemerkung zu den Aufsätzen des Herrn R. Bär. Von *F. Ehrenhaft, Wien*. S. 980.

Zur Krisis des Kausalitätsbegriffes. Von *W. Schottky, Berlin*. S. 982.

## VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

### **Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre physikalischen Grundlagen.**

Elementar dargestellt von **Max Born**. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 135 Textabbildungen. 1922.

G. Z. 7,2; gebunden G. Z. 10

Vorzugspreis für die Bezieher der Naturwissenschaften. G. Z. 6,4; gebunden G. Z. 9

### **Raum und Zeit**

im Lichte der speziellen Relativitätstheorie. Versuch eines synthetischen Aufbaus der speziellen Relativitätstheorie. Von **Dr. Clemens von Horvath**, Privatdozent für Physik an der Universität Kasan. Mit 8 Textabbildungen und einem Bildnis. 1921. G. Z. 2

### **Äther und Relativitätstheorie.**

Von **Albert Einstein**. Rede, gehalten an der Reichs-Universität zu Leiden. 1920. G. Z. 1

### **Geometrie und Erfahrung.**

Von **Albert Einstein**. Erweiterte Fassung des Festvortrages, gehalten an der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 27. Januar 1921. Mit 2 Textabbildungen. 1921. G. Z. 1

### **Die Idee der Relativitätstheorie.**

Von **Hans Phirring**, o. ö. Professor an der Universität Wien. Mit 7 Textabbildungen. 1921. Zweite Auflage erscheint in den nächsten Tagen.

### **Die Grundlagen der Einsteinschen Gravitationstheorie.**

Von **Erwin Freundlich**. Mit einem Vorwort von **Albert Einstein**. Vierte, erweiterte und verbesserte Auflage. 1920. G. Z. 2,5

Die Grundzahlen (G.Z.) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.

## Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 250.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 25.—.

Sollte die im Druck- und Papiergewerbe auch weiterhin fortschreitende Teuerung, deren Ende heute noch nicht abzusehen ist, eine abermalige Erhöhung des Bezugspreises innerhalb des 4. Quartals 1922 notwendig machen, so muß sich der Verlag schon heute eine entsprechende Nachberechnung vorbehalten.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 36.— für die einspaltige Petitzelle angenommen.

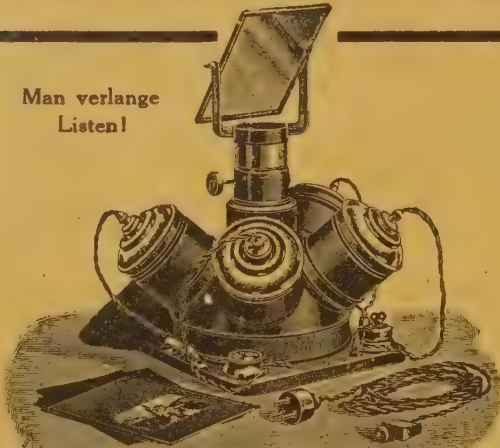
Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
5 10 20 30% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.

Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck: für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 2020 Julius Springer.  
Konten: Springer.

Man verlange  
Listen!



## Projektions-Apparate Liesegang

Hochkerziges

# Globoscop

entwirft scharfe, helle Lichtbilder nach jedem Papierbild. An jede elektrische Lichtleitung anzuschließen.

**Neue große Lichtbilder-Sammlung**

aus allen Gebieten

für Lehr- und Vortragszwecke!

**Ed. Liesegang, Düsseldorf**  
Brieffach 124

## Die großen Handbücher



von Abderhalden, Abegg, Bredig, Dammer, Doelter, Gmelin-Krauth, Hertwig, Kolle-Wassermann, Lueger, Lunge, Muspratt, Richter, Ruhner, Ullmann, Winkelmann u. a. **zur Erleichterung der Anschaffung** gegen bequeme Monats- oder Quartalsraten von (297)

**Hermann Meusser, Buchhandlung**  
Berlin W 57/9, Potsdamer Strasse 75

## Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

**zu Kaufen gesucht.** Angebote unter  
Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

# Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik

Zur Einführung in das Verständnis der Relativitäts- und Gravitationstheorie

Von **Moritz Schlick**

Vierte, vermehrte und verbesserte Auflage

(VI, 108 S.) 1922. G. Z. 3,2.

Inhaltsverzeichnis:

Von Newton zu Einstein. Das spezielle Relativitätsprinzip. Die geometrische Relativität des Raumes. Die mathematische Formulierung der räumlichen Relativität. Die Untrennbarkeit von Geometrie und Physik in der Erfahrung. Die Relativität der Bewegungen und ihr Verhältnis zur Trägheit und Gravitation. Das allgemeine Relativitätspostulat und die Maßbestimmungen des Raum-Zeit-Kontinuums. Aufstellung und Bedeutung des Grundgesetzes der neuen Theorie.

Die Endlichkeit der Welt. Beziehungen zur Philosophie. Literatur.

Die Grundzahlen (G. Z.) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.



## J. C. Kapteyn und sein astronomisches Werk.

Von A. Pannekoek, Amsterdam.

### I.

Jacobus Cornelius Kapteyn wurde am 19. Januar 1851 im Dorfe Barneveld, wo sein Vater eine Schule besaß, geboren, der siebente unter 10 Brüdern und Schwestern. Er studierte Mathematik und Physik in Utrecht, und nichts ließ damals ahnen, daß einst die Astronomie sein Arbeitsfeld sein sollte; seine Doktordissertation handelte über einen physischen Gegenstand, die Vibration ebener Membrane. Nur durch Zufall geriet er in das Gebiet der Astronomie hinein. Nach vollendetem Studium suchte er eine wissenschaftliche Stellung; er wollte in irgendeiner Wissenschaft als Forscher tätig sein, ohne im voraus zu wissen in welcher. So bewarb er sich damals um den Posten eines Meteorologen in Batavia, der aber gerade besetzt war; auch trat er in Unterhandlung über einen Posten in China. Als dann an der Leidener Sternwarte durch die Berufung Valentiners nach Mannheim die Stelle eines Observators offen kam, trat er dort 1875 ein. An dieser Sternwarte, wo seit kurzem Van de Sande Bakhuyzen als junger Nachfolger Kaisers dessen Werk fortführte, nahm er sofort an den Beobachtungen und Rechnungen teil. Große Beobachtungsreihen konnte er nicht anstellen; der Meridiankreis wurde eben, nach Vollendung der Zonenbeobachtungen, in Reparatur gegeben und Kapteyn machte währenddessen Studien mit dem Universalinstrument. 1877 beteiligte er sich an den Beobachtungen von Mars und seiner Vergleichssterne zwecks der Bestimmung der Sonnenparallaxe (wobei die Leidener Beobachtungen sich durch Genauigkeit auszeichneten); auch machte er den Anfang der Beobachtungen der Polsterne über  $80^\circ$  Deklination mit. Im nächsten Jahre, 1878, siedelte er als Professor der Astronomie nach Groningen über, wo er bis zu seinem Rücktritt 1921 geblieben ist.

Mit seinen Leidener Übungen am Universalinstrument stand seine erste astronomische Arbeit im Zusammenhang. In einem Aufsatz, den er 1884 in der Zeitschrift „Copernicus“ veröffentlichte, „Über eine Methode, die Polhöhe möglichst frei von systematischen Fehlern zu bestimmen“, machte er den Vorschlag, Altazimutbeobachtungen zur Verbesserung der Fundamentalbeobachtungen zu verwenden. Darin zeigt sich schon als wichtiger Zug sein freier Blick und sein selbständiges Urteil gegenüber der überkommenen Tradition astronomischer Methoden. Zum

Teil war dabei wohl der Umstand wesentlich, daß er nicht als Astronom in der Schule einer Sternwarte erzogen war — ähnlich wie gerade in der Astronomie so viele der hervorragendsten Forscher —, sondern als gereifter junger Wissenschaftler von außen hereinkam. Die kurze Leidener Zeit hat dann ausgereicht, ihn nicht nur mit Theorie und Handhabung der Instrumente völlig vertraut zu machen, sondern ihm auch die Mängel, die den Fundamentalbeobachtungen anhaften, klar vor Augen zu führen und auf Mittel der Abhilfe zu sinnen. Das gilt namentlich für die Deklinationen; die großen systematischen Differenzen zwischen den Katalogen der besten Sternwarten weisen auf die Möglichkeit großer systematischer Fehler hin trotz der Genauigkeit in bezug auf die zufälligen Fehler; und die Hauptursache liegt zweifellos in dem unbekannten, an jedem Ort abweichenden Gesetz, nach dem die Refraktion sich mit der Zenitdistanz des Gestirns ändert. Kapteyn entwickelt daher eine Methode, die Polhöhe frei von den Fehlern der Deklinationen und von den Fehlern in dem angenommenen Gesetz der Refraktion zu finden. Der Grundgedanke ist dieser: von einer Anzahl gleichmäßig auf dem Parallel verteilter Sterne mit einer mittleren Deklination von nahezu  $2\varphi - 90^\circ$  werden die Zeitdistanzunterschiede gegen einige Polsterne sowohl in oberer als in unterer Kulmination, also im Mittel gegen den Pol selbst, gemessen (z. B. mit Zenitteleskop oder sonst mit dem Höhenkreis); dann werden die Azimuthe dieser Sterne im O und W gemessen, aus denen auf die Meridianzenitdistanz im Süden geschlossen werden kann; beide zusammen geben also die Zenitdistanz des Pols, ohne absolute Höhenmessungen oder Deklinationen zu benutzen. Soviel wir wissen, ist diese Methode nur einmal, von Courvoisier mit dem Straßburger Altazimut (in seiner Doktordissertation 1901), praktisch erprobt worden.

Die Überzeugung, daß die Fundamental-kataloge viel größere und systematische Unsicherheiten in sich bergen, als mancher Astronom sich denkt, ist Kapteyn während seines ganzen Lebens geblieben. Denn jedesmal stieß er in seinen Untersuchungen darauf, daß in den von ihm benutzten Eigenbewegungen (des großen „Preliminary General Catalogue“ von Boss) noch systematische Fehler steckten. Bisweilen konnte er sie selbst bestimmen, indem er von dem Prinzip ausging, daß die Gesetzmäßigkeiten in der E. B. (durch Sonnenbewegung, Strombewegung) die großen und die kleinen E. B. verschieden, die

systematischen Katalogfehler dagegen sie in gleicher Weise affizieren. Aber immer betonte er die Notwendigkeit, die allgemein adoptierten Fundamentalsysteme durch besondere Untersuchungen zu kontrollieren und zu verbessern, und oft suchte er solche Beobachtungsreihen anzuregen. Noch in dem letzten Jahre, als er die Leitung der Meridianabteilung der Leidener Sternwarte auf sich genommen hatte, beschäftigte er sich mit dieser Frage. Auf seinen Vorschlag sollen die Gelder einer Stiftung in Leiden dazu bestimmt werden, systematische Beobachtungen im Sinne seines früheren Vorschlages anzustellen. Und seine letzte Arbeit, einige Monate vor seinem Tode vollendet und in dem Bulletin der holländischen astronomischen Institute im März dieses Jahres veröffentlicht, ist wieder diesem Problem gewidmet. Da schreibt er:

„Ich weiß nichts so Niederdrückendes in der ganzen Astronomie als von der Betrachtung der zufälligen Fehler unserer Sternörter zu deren systematischen Fehlern überzugehen. Während viele unserer Meridianinstrumente so vollkommen sind, daß sie durch eine einzige Beobachtung den Sternort bis auf  $0'',2$  oder  $0'',3$  bestimmen, mag dennoch das beste Resultat aus tausend Beobachtungen aller unserer besten Sternwarten einen wirklichen Fehler größer als eine halbe Sekunde haben. . . . Für die Deklination sind diese Fehler viel schwerwiegender, und es scheint mir, daß unsere heutigen Methoden keine Lösung versprechen. Es war schon lange meine Überzeugung, daß solch eine Lösung nur erfolgreich sein kann durch die Benutzung von Methoden, bei denen die Refraktion keine oder nur eine sekundäre Rolle spielt. Persönlich bin ich überzeugt, daß die Frage der gründlichen Bestimmung der systematischen Fehler unseres Deklinationssystems die dringendste aller Fragen der Fundamentalastronomie ist.“

Dann schlägt er vor, diese Frage zu lösen durch eine Wiederholung von ein paar Hundert photographischen Platten, die zur Parallaxebestimmung der *Boss*-Sterne gedient haben. Diese Wiederholung wird gestatten — durch Vergleichung mit den alten Platten —, die Eigenbewegung der kleinen Sterne verschiedener Größe relativ zum Zentralstern in allen Teilen des Himmels genau zu bestimmen, also ihre Eigenbewegung im *Boss*-System; unsere theoretischen Kenntnisse der geringen Eigenbewegungen solcher Sterne werden dann gestatten, die systematischen Fehler dieses Systems zu ermitteln.

## II.

Eine zweite Frucht der ersten Groninger Jahre war die Methode zur *Bestimmung von Sternparallaxen durch Registrierbeobachtungen am Meridiankreis*. Bis dahin war der Meridiankreis zwar bisweilen zur Messung der Parallaxen in Deklination verwendet worden (trotzdem für niedere Deklinationen der Einfluß der Parallaxe

auf die Deklination erheblich verringert wird), aber die Rektaszensionen wurden als zu ungenau betrachtet, namentlich verglichen mit der hohen Genauigkeit von Mikrometer- und Heliometerbeobachtungen. Nun zeigten jedoch die mit diesen Mitteln gewonnenen Parallaxen so große Differenzen, daß offenbar die zufälligen Fehler eine unbedeutende Rolle gegenüber den systematischen Fehlern spielten. Daher glaubte *Kapteyn*, daß die feste Aufstellung des Meridianfernrohrs und die Einfachheit der Beobachtung, die eine große Sicherheit gegen systematische Fehler versprachen, die Methode der Messung von Rektaszensionsdifferenzen doch konkurrenzfähig machen könnten. Der zufällige Fehler war bei der Registriermethode nicht gar groß und konnte durch die kurze Zeit der Beobachtung aufgewogen werden (ein Stern mit zwei Vergleichssterne kostete nur 15 Minuten), falls man durch ein längeres Programm vieler einander folgender Sterne diesen Vorteil ausnutzte. Zur praktischen Erprobung der Methode konnte er den Leidener Meridiankreis benutzen. Da er dabei auf die Ferienzeiten angewiesen war, mußte er sein Programm dementsprechend auswählen. In den Weihnachtsferien 1885—86 und 1886—87 und den Osterferien 1885 und 1887 arbeitete er, durch schlechtes Wetter außerordentlich gehemmt, ein Programm von 15 Parallaxestern (dritter bis achter Größe) und 30 Vergleichssterne durch. Der wichtigste systematische Fehler, der daraus entsteht, daß Sterne verschiedener Helligkeit in verschiedenem Maße zu spät registriert werden, wurde unschädlich gemacht durch Anwendung verschiedener Objektivgitter, die die hellen Parallaxesterne zu der mittleren Helligkeit der Vergleichssterne abschwächten. In einer außerordentlich sorgfältig durchgeführten Diskussion (im 7. Band der Annalen der Leidener Sternwarte 1891 veröffentlicht) konnte *Kapteyn* nachweisen, daß der wahrscheinliche Fehler des Resultats einer Beobachtung ( $0'',13$ ) ein sehr nahe richtiges Maß der wirklich erreichten Genauigkeit abgab, und daß kaum erhebliche systematische Fehler mehr darin stecken könnten. Da bei den Parallaxebestimmungen mit dem Heliometer, von denen eben eine schöne reichhaltige Reihe von *Gill* und *Elkin* an der Kapteynsternwarte angestellt war, eine Beobachtung einen wahrscheinlichen Fehler von  $0'',075$  hatte, dafür aber auch viermal längere Zeit in Anspruch nahm, war der Schluß berechtigt, daß die Kapteynsche Methode neben der heliometrischen ihren Platz einzunehmen verdient.

Es handelte sich dabei weniger um die 15 Parallaxen, die als Resultat der Beobachtungen herauskamen (so wertvoll und gut sie an sich waren), als um die Feststellung der Bedeutung und der Aussichten der Methode. *Kapteyn* entwarf dabei sofort einen allgemeinen Plan zu *Massenbestimmungen von Parallaxen*. „Es erscheint nämlich eine umfangreiche Kenntnis von



Fixsternparallaxen so dringend erwünscht für die Entwicklung der Stellarastronomie, daß man das einigermaßen Erreichbare auch gewiß zu erreichen suchen wird.“ Die Fragen, wie groß der mittlere Wert der Parallaxe von Sternen 1., 2., 3. Größe ist, in welcher Beziehung die Parallaxen zu Größe und Eigenbewegung stehen, und welche Fixsterne der Sonne am nächsten stehen, können nur durch sehr viele Bestimmungen gelöst werden. Während für die schwächsten Klassen die Photographie am meisten verspricht, wird man für die 1000 Sterne bis zur fünften Größe am besten die Registriermethode benutzen. Zuerst wird für diese eine globale Bestimmung aus acht Beobachtungen (w. F. 0",05) gemacht, die ausreicht für die statistischen Fragen; die gefundenen Parallaxen über 0",05 (etwa 400) werden dann durch weitere Messungen auf ihre Realität untersucht und genauer bestimmt. Eine solche Arbeit wäre von zwei Sternwarten, auf jeder Halbkugel einer, in acht Jahren zu vollenden.

Dazu ist es nun nicht gekommen. Die Registriermethode ist aber in längeren Beobachtungsreihen von *Flint* auf der Washburnsternwarte, von *Jost* in Heidelberg und *Großmann* in München angewandt worden, und hat bedeutende Beiträge zur Kenntnis der Fixsternparallaxen geliefert. Erst im neuen Jahrhundert ist sie durch die äußerst genauen photographischen Bestimmungen mit den amerikanischen Riesenfernrohren aus dem Felde gedrängt worden.

### III.

In Groningen stand *Kapteyn* alsbald nach den ersten Anfangsjahren der Lehrtätigkeit vor der Frage, wie er sich an der astronomischen Forschungsarbeit beteiligen könnte. Eine Sternwarte war nicht vorhanden; als ein Student sich praktisch üben wollte, wurde ein dazu gekauftes kleines Universalinstrument im Garten des Professors aufgestellt. Seine ersten Bemühungen galten nun der Beschaffung einer Sternwarte; denn damals galt noch das Axiom, daß zur praktischen Astronomie in erster Linie Instrumente zur Beobachtung des Himmels nötig seien. Zuerst schien die Regierung auch, um den Anfang der 80er Jahre, willig zu sein, für Groningen eine Sternwarte mit photographischem Fernrohr, damals noch eine Neuigkeit, einzurichten; aber die Sache zerschlug sich aus finanziellen Gründen und später hat Leiden das photographische Fernrohr bekommen. So bedauerlich dies damals erschien, so glücklich hat sich diese Entscheidung für die Zukunft erwiesen. Denn sie drängte *Kapteyn* in eine Richtung, in der er Pionier werden sollte.

Angeregt durch den Sternreichtum gelegentlich von einem Amateur aufgenommenen Platten, faßte *David Gill*, der Direktor der Kapsternwarte, den Entschluß, eine photographische Himmelskarte herzustellen. Mit einem Dallmeyerobjektiv fing er 1885 an,

eine Reihe von Aufnahmen zu machen, die den südlichen Himmel (von 18° Deklination an) doppelt überdecken sollten. Sie zeigten die Sterne bis zur 10. Größe und konnten daher für diese Gegenden die Stelle der großen Bonner Atlanten von *Argelander* und *Schönfeld* ausfüllen. Aber diese Atlanten beruhten auf Sternkatalogen (Bonner Durchmusterung), die als das unmittelbare Resultat der Beobachtungen Größe und Ort jedes Sterns in Zahlen angaben, und noch viel öfter benutzt wurden und wertvoller waren als die Karten. Sollte aus den südlichen Himmelsaufnahmen ein solcher Katalog aufgestellt werden, so war eine lange Arbeit des Ausmessens und Rechnens nötig; und dazu war an der Kapsternwarte mit ihren vielen wichtigen Arbeiten kein Personal da. In dieser Lage erbot sich *Kapteyn*, der mit *Gill* in Briefwechsel stand, diesen Teil der Arbeit zu übernehmen. Obgleich seine holländischen Kollegen ihn nicht gerade ermutigten und ihm die Schwierigkeit einer eintönigen langweiligen Arbeit vorführten, war seine Begeisterung, wie er *Gill* schrieb, groß genug für sechs oder sieben Jahre solcher Arbeit. Ein finanzieller Zuschuß seitens der Regierung sicherte ihm die Hilfe eines ständigen Personals für die Arbeit der Ausmessung und Berechnung. Weil er selbst keine Arbeitsräume besaß, wurde ihm von seinem Kollegen *Huizinga* ein Raum im Kellergeschoß des physiologischen Laboratoriums überlassen. Aus dem alten Universalinstrument baute er mit Hilfe eines Schmiedes seinen „parallaktischen Meßapparat“, der die Frage der Ausmessung und Berechnung in ganz einfacher Weise löste.

Meistens werden auf einer photographischen Platte rechtwinklige Koordinaten der Sterne gemessen, weil dies am einfachsten und naheliegendsten ist. Die nachherige Umrechnung dieser Koordinaten auf die übliche Rektaszension und Deklination erfordert dann aber eine große Arbeit nach ziemlich verwickelten Formeln, auch wenn diese durch Tabellen noch so sehr vereinfacht wird. *Kapteyn* umging durch seinen Apparat diese ganze Umrechnung. Wenn die Platte aus einer Entfernung gleich der Fokaldistanz des zur Aufnahme verwandten Fernrohrs betrachtet wird, muß sie, was die Lage der Sternbilder anbetrifft, genau so aussehen wie der Himmel selbst; ihre Sterne könnten die Sterne am Himmel genau verdecken. Stellt man daher ein Universalinstrument in dieser Entfernung auf, mit der Vertikalachse zum Pol gerichtet, und richtet man das Fernrohr auf einen Stern der Platte, so kann man auf den Kreisen des Instrumentes seine Rektaszension und Deklination (bei gehöriger Wahl der Nullpunkte) direkt ablesen. Die Ausführung wird am einfachsten, wenn man die Himmelskugel so stellt, wie sie am Äquator erscheint, also die Polachse horizontal legt, und wenn man die Sterne im Horizont beobachtet denkt, also die Platte in der richtigen

horizontalen Entfernung vom Instrument vertikal aufstellt.

Als 1889 der erste Kongreß für die internationale photographische Himmelskarte in Paris zusammentrat, hat *Kapteyn* dort für die Vermessung der vielen Tausende Platten seinen parallaktischen Apparat empfohlen und im *Bulletin* der Himmelskarte beschrieben. Bekanntlich hat man trotz der ungeheuren Mehrarbeit des Rechnens doch die rechtwinklige Methode gewählt, mit der fast jedermann vertraut war und deren hohe Genauigkeit bekannt war; ein parallaktisches Instrument war in den nötigen größeren Dimensionen noch nicht konstruiert worden, und es erschien zweifelhaft, ob durch Kreisablesungen die erwünschte mikrometrische Genauigkeit zu erzielen sei. Auch für die Kapplatten war zuerst die Rede davon, daß durch finanzielle Hilfe der „Royal Society“ in London ein parallaktischer Apparat höchster Genauigkeit für deren Vermessung gebaut werden sollte, so daß die Ortsbestimmungen den hohen Anforderungen moderner Sternkataloge entsprechen würden. Als dann aber der Plan der großen internationalen Himmelskarte aufkam, erachtete man in England die Aufnahme und die Vermessung der Kapplatten nicht mehr nötig und die finanziellen Zusagen wurden zurückgezogen. *Gill* und *Kapteyn* waren anderer Meinung und setzten ihre Absicht durch — jetzt, da die internationale Himmelskarte, 30 Jahre später, kaum zur Hälfte vollendet ist, während der *Kap*-katalog schon 20 Jahre lang den Astronomen seine großen Dienste beweist, sehen wir, wie vollkommen sie Recht hatten. Aber sie waren jetzt gezwungen, sich mit der geringeren Durchmusterungsgenauigkeit zu begnügen, die mit dem selbstgefertigten Apparat *Kapteyns* zu erzielen war.

Diese Genauigkeit war allerdings bedeutend größer als bei den visuellen Durchmusterungen, namentlich weil die Messungen sich in größerer Ruhe machen ließen. Gegen Verwechslungen mit zufälligen Fleckchen der Platte schützte man sich dadurch, daß zwei Platten derselben Gegend hintereinander gestellt wurden, so daß jeder Stern doppelt erschien. Die Sterngrößen konnten durch Messung und Schätzung der Durchmesser genauer gefunden werden als bei visueller Beobachtung; dem stand der Nachteil gegenüber, daß eine Umwandlung der Durchmesserskala in eine Skala der Größenklassen nötig war, die durch Vermittlung der in *Goulds* Meridianbeobachtungen enthaltenen Sterne stattfinden mußte, und die daher nur einen vorläufigen Charakter tragen konnte. 10 Jahre hat in Groningen die Arbeit der Herstellung des Katalogs gedauert, und erst in den Jahren 1896 bis 1900 erschienen die drei Bände der „*Cape Photographic Durchmusterung*“, des ersten auf photographischem Wege gewonnenen großen Sternkatalogs. Er umfaßt den südlichen Himmel von

18° südl. Dekl. bis zum Südpol und enthält in diesem Raum 454 875 Sterne. Die „Royal Astronomical Society“ in London würdigte die Vollenendung dieses Werkes (zugleich mit den anderen noch zu behandelnden Untersuchungen), indem sie *Kapteyn* ihre goldene Medaille für das Jahr 1902 zuerkannte.

#### IV.

Jedoch eine solche bloße Katalogarbeit, wie nützlich auch, konnte den Geist *Kapteyns* nicht befriedigen. Seine Ziele hatte er weiter gesteckt: der *Bau des Weltalls* war der Gegenstand, der seinen Geist erfüllte. Später hat er sich einmal einem Freunde gegenüber in diesem Sinne geäußert: „Als ich meine Entwürfe zur Erforschung der Struktur des Sternsystems machte, wußte ich, daß dabei das Resultat einer ganzen Lebensarbeit nihil sein könnte; daher wurde ich Mitarbeiter *Gills*, um wenigstens etwas Positives geleistet zu haben“. Der Gedanke, diese Weltstruktur zu erforschen, trat schon bei seinen Parallaxebestimmungen hervor. In den 90er Jahren (seit 1892—93) erschienen dann als die ersten Versuche in dieser Richtung eine Anzahl Aufsätze, zuerst in den Berichten der Amsterdamer Akademie, nachher zusammenfassend mitunter in den *Astronomischen Nachrichten*.

Das charakteristische Merkmal der Forschungsmethode, die in seinen Händen so große Erfolge lieferte, war die *statistische Behandlungsweise*. Die Größen, die die Data für einen Stern bestimmen, sind so klein, daß sie sich aus der Beobachtung nur mit großen Fehlern behaftet ergeben, oft in dem Maße, daß das Resultat für den Stern völlig illusorisch wird, wie z. B. negative Parallaxen, aus denen gar keine Entfernung gefunden werden kann. Daher wird man mit Durchschnittswerten arbeiten müssen. Aber dabei ist dann die strengste Vorsicht nötig, damit die Zufälligkeit der Fehlerverteilung ganz zu ihrem Rechte kommt. Wenn man z. B. die negativen Parallaxen als unmöglich oder unreal ausschließt und nur die positiven berücksichtigt, wird man für die mittlere Parallaxe einer Gruppe von Sternen sicher einen zu großen Wert bekommen. So sind auch manche Resultate früherer Forscher für die Geschwindigkeit von Sterngruppen durch bestimmte Auswahl der Data systematisch gefälscht. Reihen von Parallaxebestimmungen, die dieser Bedingung der strengen Auswahllosigkeit genügen, gab es nun damals nicht viele; selbst im Jahre 1901 konnte *Kapteyn* nur eine Liste von 58 Parallaxen verwenden. Da nun aber doch die Kenntnis der mittleren Entfernung bestimmter Sterngruppen die Grundlage aller weiteren Forschungen bildet, mußte er sie in irgendeiner anderen Weise finden. Eigenbewegung und Helligkeit geben zwar beide einen Maßstab für die Entfernung ab, aber, wie sich leicht zeigen läßt, einen falschen. Denn in den Sternen einer helleren Klasse hat man nicht nur



die näher stehenden, sondern auch die tatsächlich absolut helleren ausgewählt; zu den scheinbar schwachen Sternen gehören nicht nur die entfernten, sondern auch die absolut kleineren; ihre mittlere Entfernung und Parallaxe sind also weniger verschieden als nach der Helligkeit zu erwarten war. Ähnlich bestehen die Sterne mit großen Eigenbewegungen nicht nur aus uns benachbarten, sondern auch aus entfernten rasch dahinfliegenden Sternen.

Einen richtigen Maßstab fand *Kapteyn* nun in der parallaktischen Verschiebung der Sterne. Infolge der Bewegung des Sonnensystems durch den Raum scheint jeder Stern die entgegengesetzte Bewegung zu haben, vom Apex der Sonnenbewegung weg, die im Bogenmaß um so kleiner ist, je weiter der Stern entfernt ist. Zwar wird für jeden einzelnen Stern diese parallaktische Bewegung mit der wirklich eigenen Bewegung des Sterns, der „pekuliären Bewegung“, die völlig unbekannt ist, zusammengesetzt; daher sind sie in der beobachteten Eigenbewegung nicht zu trennen. Aber was für den Einzelstern unmöglich ist, ist es nicht für eine größere Gruppe; denn in der Voraussetzung, daß die wirklichen Bewegungen *alle* Richtungen haben können und sich nach den Gesetzen des Zufalls verteilen, verschwinden sie *im Mittel* und kann man für die *Gruppe* die parallaktische Bewegung finden. Mit Hilfe der aus spektrographischen Messungen bekannten Geschwindigkeit des Sonnensystems in km ergibt sich dann die mittlere Parallaxe der Sterngruppe. In solcher Weise fand *Kapteyn* (in einem Aufsatz 1898 in den *Astronomischen Nachrichten*) für Sterne von der Größe

0 — 3,5 3,6 — 4,5 4,6 — 5,5 5,6 — 6,5 6,6 — 7,5

|            |         |         |         |         |         |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| mit der    |         |         |         |         |         |
| mittl. Gr. | 2,94    | 4,14    | 5,07    | 6,01    | 6,93    |
| die mittl. |         |         |         |         |         |
| Parallaxe  | 0",0423 | 0",0227 | 0",0162 | 0",0143 | 0",0099 |

Für den ersten Typus sind die Zahlen alle kleiner, für den zweiten Typus alle größer, und zwar 2,3mal größer als beim ersten Typus; also sind die Sterne des 1. Typus bei gleicher scheinbarer Größe 2,3mal weiter entfernt, haben also fünfmal größere Leuchtkraft als die des zweiten Typus.

Die Werte nehmen pro Größenklasse nicht im Verhältnis  $\sqrt{2,50} = 1,58$  ab (wie es sein sollte, wenn die Verschiedenheit in Größe nur eine Wirkung der Entfernung wäre), sondern im Verhältnis  $1,4 = \text{ungefähr } \sqrt{2}$ . Diese Differenz ist eine Wirkung der Streuung der absoluten Helligkeit der Sterne und umgekehrt muß sich aus ihr diese Streuung finden lassen. Diese Aufgabe wurde als Teil eines viel größeren allgemeineren Problems gelöst.

Das erste Ziel der Forschungen über den Bau des Weltalls besteht in der Ableitung der drei wichtigen allgemeinen Verteilungsgesetze,

die *Kapteyn* 1895 in dem Anfang seines Aufsatzes über „Die Verteilung der kosmischen Geschwindigkeiten“ formulierte:

1. das Gesetz, nach welchem die absoluten Geschwindigkeiten der Sterne verteilt sind;
2. das Gesetz, nach welchem die Anzahl der Sterne pro Volumeneinheit (Sterndichte) sich mit dem Abstand von der Sonne ändert;
3. das Gesetz der Verteilung der absoluten Helligkeit.

Bei der Erforschung der Struktur des Weltalls handelt es sich nicht um Lage und Eigenschaften der einzelnen Sterne. Welche Leuchtkraft, Spektrum, Geschwindigkeit bei jedem Stern zusammen vorkommen, kümmert uns dabei nicht, sondern es handelt sich darum, wieviel Sterne an diesem oder jenem Ort stehen, wieviel Sterne eine solche bestimmte Eigenschaft in verschiedenen Grade besitzen. Wir kümmern uns dabei nur um die Frage, wie die Geschwindigkeiten der Sterne verschiedener Leuchtkraft oder verschiedenen Spektrums verteilt sind. Der Einzelstern gilt nur als Glied der Masse gleichartiger und der größeren Masse verschiedenartiger Sterne. Man kann hier gleichsam von einer *statistischen Astronomie* reden, die als solche durch die Arbeiten *Kapteyns* gegründet wurde und deren Ziel in dem Auffinden der fundamentalen Verteilungsgesetze besteht. Voraussetzung ist dabei, daß solche allgemeine Gesetze tatsächlich bestehen; sollten das Geschwindigkeitsgesetz oder das Gesetz der Häufigkeit der absoluten Helligkeiten sich verschieden für verschiedene Teile der Welt erweisen, so bildet das eine Frage der Verfeinerung, die in zweiter Instanz als weitere Annäherung zu untersuchen ist.

Den ersten großen Erfolg auf diesem Gebiet erzielte *Kapteyn* 1901 mit der *Ableitung des Häufigkeitsgesetzes der absoluten Helligkeiten* oder des Gesetzes der Leuchtkraft. Die absolute Helligkeit wird, ähnlich wie die scheinbaren Helligkeiten, in Größenklassen ausgedrückt; meist wird dafür die Größe angesetzt, die der Stern in einer Entfernung von 10 Parsek (Parallaxe 0",1) zeigen würde. Da die absolute Größe unserer Sonne 5,5 ist, bedeutet die absolute Größe 4,5, 3,5, 2,5, 1,5, 0,5, daß der Stern eine 2,5-, 6-, 15-, 40-, 100mal größere absolute Helligkeit als die Sonne hat. Das Häufigkeitsgesetz soll die Frage beantworten, wieviel z. B. unter einer Million Sterne eine Helligkeit zwischen 1- und 2,5-, zwischen 2,5- und 6mal der Helligkeit der Sonne usw. und ähnlich nach unten zählend, zwischen 1- und 0,4-, 0,4- und 0,16mal der Helligkeit der Sonne usw. besitzen.

Der Weg, den *Kapteyn* dabei einschlug, ist folgender. Oben wurde die mittlere Parallaxe für die Sterne 2., 3., 4. usw. Größe abgeleitet. Für jeden einzelnen Stern kann die Parallaxe davon noch erheblich abweichen. Nun ist die Eigenbewegung ein noch besseres Kriterium der Entfernung als

die Größe, und wenn man Eigenbewegung und Größe beide benutzt, so ist der Fehler noch geringer. Aus dem ganzen Material der gemessenen und der aus parallaktischer Bewegung gefundenen Parallaxen leitete *Kapteyn* eine Formel ab, wie die mittlere Parallaxe  $\pi$  aus Größe  $m$  und Eigenbewegung  $\mu$  zu berechnen sei. Diese Formel lautet:

$$\pi_{\mu,m} = (0,905)^m - 5,5 \quad (0,0387 \mu)^{1/1,405}$$

oder auch  $\log \pi_{\mu,m} = -0,766 - 0,43 m + 0,712 \log \mu$ . Sie besagt, daß für jede Größenklasse, die ein Stern heller ist, bei gleicher Eigenbewegung, die Parallaxe  $\frac{1}{0,905} = 1,105$ mal größer wird, während jede Verdoppelung der Eigenbewegung bei gleicher Helligkeit die Parallaxe 1,64mal größer macht. Solche Formeln wurden noch getrennt für den 1. und den 2. Spektraltypus abgeleitet. Aus einer Abzählung der Eigenbewegungen bei Sternen verschiedener Größe in dem Auwers-Bradley-Katalog und einigen anderen Quellen wurde abgeleitet, wieviel Sterne zwischen den Größen 1,5—2,5, 2,5—3,5, . . . , 8,5—9,5 am ganzen Himmel jährliche Eigenbewegungen von 0",005, 0",015, . . . , 0",095 (d. h. eingeschlossen zwischen 0",00 und 0",01, 0",01 und 0",02, . . . , 0",09 und 0",10), 0",125 (0",10—0",15), 0",175 (0",15—0",20), 0",25 (0",20—0",30) usw. haben. Für jede dieser Gruppen konnte nun aus der obenstehenden Formel die mittlere Parallaxe berechnet werden. Diese wurde aber nun nicht allen Sternen einer solchen Gruppe zuerkannt, denn nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit muß ein Teil größere, ein anderer Teil kleinere Parallaxen haben. Es wurde angenommen, daß die Logarithmen der wirklichen Parallaxen (weil die äußersten Grenzen der Parallaxen null und unendlich sind) nach dem Fehlergesetz verteilt sind; die Abweichungen der beobachteten Parallaxen von der Formel führten auf einen wahrscheinlichen Fehler dieser Größe 0,19, d. h. daß die Hälfte aller wirklichen Parallaxen zwischen 0,52- und 1,25mal der mittleren Parallaxe liegt. Damit ließ sich berechnen, welche Bruchteile aller Sterne einer Gruppe wirkliche Parallaxen zwischen bestimmten Grenzen haben; jede Gruppe wurde also dem Gesetz der zufälligen Fehlerverteilung gemäß über die verschiedenen Parallaxefächer ausgestreut. Die Grenzen der Fächer wurden so gewählt, daß sie im Verhältnis 1,58 abnahmen; sie entsprechen also Kugelflächen in wachsender Entfernung um die Sonne derart, daß der nämliche Stern auf jeder folgenden Kugelfläche eine Größenklasse schwächer erscheinen würde. Die Sterne jeder Gruppe werden nach diesem Verfahren über die verschiedenen Kugelschalen verteilt; in jeder Schale findet man so die Anzahl Sterne von jeder jeweils um eine Größenklasse verschiedenen scheinbaren Helligkeit, also auch von einer um jedesmal eine Größenklasse abnehmenden absoluten Größe. Für die nächste Schale gilt dasselbe, nur daß alle absoluten Größen um eins größer sind; in jeder folgenden Schale entsprechen denselben schein-

baren Größen um eins höhere absolute Größen. In jeder Schale erhält man nun die Sterne in Gruppen nach der absoluten Größe abgezählt; aus jeder läßt sich also das Häufigkeitsgesetz innerhalb eines beschränkten Bereichs und die totale Anzahl in der Schale ableiten, aus allen zusammen also das Häufigkeitsgesetz über einen ziemlich weiten Bereich und die Änderung der Raumdichte der Sterne mit dem Abstand von der Sonne.

Das Resultat dieser Rechnung ist enthalten in einer kleinen Tabelle, die die Logarithmen der Anzahl Sterne für jede absolute Größenklasse pro tausend Kubikparsek gibt. *Kapteyn* illustriert den Charakter des Häufigkeitsgesetzes durch die Angabe, daß in einem bestimmten Raum gemischt vorhanden sind: 1 Stern gleich 100 000mal die Sonne, 38 Sterne gleich 10 000mal die Sonne, 1800 Sterne gleich 1000mal, 36 000 Sterne gleich 100mal, 440 000 Sterne gleich 10mal die Sonne, 2 Millionen gleich der Sonne, 5 Millionen gleich  $\frac{1}{10}$  und  $7\frac{1}{2}$  Millionen gleich  $\frac{1}{100}$  der Sonne. Selbstverständlich beruhen die äußersten Zahlen auf Extrapolation. Die Anzahl nimmt also für die kleineren Sterne stark zu; sie scheint sich aber für diese schwächste Sorte einem Maximum zu nähern. Bald nachher wurde von verschiedenen Seiten bemerkt, daß die gefundenen Sternzahlen einem einfachen mathematischen Gesetz gehorchen: die Logarithmen genügen einer quadratischen Formel, mit einem Maximum für die absolute Größe 9 (3,5 Größe schwächer als die Sonne), also die Anzahlen selbst folgen dem Wahrscheinlichkeitsgesetz, der Gaußschen Fehlerkurve  $e^{-h(M-M_0)^2}$ . Allerdings zeigte das Erfahrungsmaterial nur einen Ast der Kurve, die hellen Sterne; die wieder abnehmende Häufigkeit der noch kleineren Sterne zu zeigen, dazu reichten die Beobachtungsdaten noch nicht.

Mit der Bestimmung dieses Häufigkeitsgesetzes war die Bahn frei für die Erforschung des zweiten Gesetzes, das die Dichtigkeit der Sterne in verschiedener Entfernung von der Sonne betrifft. Auf diesem Gebiete war *Seeliger* schon mit bedeutenden Arbeiten vorangegangen und hatte aus den Sternzählungen der Durchmusterungen und der beiden *Herschels* soviel abgeleitet, als sich ohne Kenntnis des Häufigkeitsgesetzes ableiten ließ. Die Bedeutung des neuen Gesetzes hat bald *Schwarzschild* erkannt, der eine elegante analytische Methode ausarbeitete, die Dichtigkeitsverteilung zu finden, wenn sie ähnlich wie das Häufigkeitsgesetz selbst durch eine Wahrscheinlichkeitskurve darzustellen ist. *Kapteyn* lag eine andere Arbeitsmethode näher, die, elastischer als die analytische, wo der Mensch gleichsam zum Sklaven seiner Formeln wird, immerfort der Verschiedenartigkeit des Ausgangsmaterials Rechnung zu tragen gestattet und die den Zusammenhang zwischen Beobachtungsdaten und Ergebnissen stets klar erkennen läßt (ähnlich wie bei der Ableitung des Häufigkeitsgesetzes). Später hat er allerdings auch die Formeln



*Schwarzschild's* mit Nutzen angewandt. Da bei der Ermittlung der Dichtigkeitsabnahme mit der Entfernung eine Absorption im Weltenraum eine bedeutende Rolle spielen würde, hat er dieser Frage wiederholt Untersuchungen gewidmet. Das Resultat war allerdings negativ; eine merkliche Absorption ließ sich nicht mit Sicherheit nachweisen, so daß ihr Einfluß bei den weiteren Untersuchungen auszuschalten war.

Zuerst war es nun nötig, die Anzahl Sterne verschiedener Größenklassen, namentlich auch in bezug auf die Lage zur Milchstraße genau zu bestimmen. Die Schwierigkeit lag hauptsächlich in der Feststellung einer genauen photometrischen Skala für die schwächsten Sterne zwischen 10. und 15. Größe, wobei dann zugleich die Grenzhelligkeit für die Herschelschen Sterneichungen bekannt werden mußte. Durch eine geschickte und vorsichtige Verbindung der photometrischen Messungen *Pickerings* und *Parkhursts* mit Abzählungen auf photographischen Sternkarten gelang es *Kapteyn* in einer 1908 publizierten Abhandlung, die Skala und damit die Sternzahl für diese schwächsten Klassen ziemlich zuverlässig festzulegen. Indem er sie mit den Ergebnissen der Durchmusterungen und mit den photometrischen Katalogen der helleren Sterne vereinigte, konnte er als Resultat eine Tabelle geben, die die Anzahl Sterne pro Quadratgrad des Himmels für jede galaktische Breite und bis zu jeder Grenzgröße von der ersten bis zur 15. (extrapoliert bis zur 20.) Größe enthielt.

Mit diesem Material hat er dann im selben Jahre das *Dichtigkeitsgesetz* abgeleitet, wieder ohne im voraus irgendeine Funktionsform anzunehmen. Er hat einfach empirisch die Dichtigkeit in verschiedenen Entfernungen 100, 300, 500, 1000 Parsek berechnet (wofür er 0,97, 0,46, 0,131, 0,125 fand), sowie die Grenze 10 000 Parsek, bis wohin die Dichtigkeit dann regelmäßig abnimmt. Diese Dichtigkeitsfunktion ist immerhin nur ein Rechenresultat, da das Weltall nicht kuglig um die Sonne angeordnet ist; will man eine der Wirklichkeit mehr entsprechende Verteilung der Sterne im Weltenraum ableiten, so darf man die Milchstraße nicht außer acht lassen.

## V.

Die schönen Erfolge der Arbeiten *Kapteyns* an der Herstellung der „Cape Photographic Durchmusterung“ führten zur Gründung des „*Astronomischen Laboratoriums*“ in Groningen. Im Grunde hatte das Laboratorium, als es 1896 als solches eröffnet wurde, schon zehn Jahre bestanden in der Form der beiden Kellerräume, wo die Kapplatten vermessen wurden. Aber jetzt trat es in die offizielle Öffentlichkeit, indem die Regierung ihm ein eigenes Gebäude (sei es auch ein vorläufiges und mit beschränktem Raum) mit eigenem Etat für weitere Untersuchungen und deren Publikation zur Verfügung stellte. Nach einigen Umsiedlungen hat jetzt das Astronomische

Laboratorium endgültig dasselbe Gebäude zugewiesen bekommen, wo es in der Vorzeit als Gast im Kellergeschoß wohnte.

Der Name „Astronomisches Laboratorium“, die Verbindung zweier Worte, die sonst nie zusammenstehen, macht schon klar, daß eine Umwälzung der astronomischen Praxis stattgefunden hatte. Eine Sternwarte, wo man den Himmel nicht sehen kann, mag dem Laien auf den ersten Blick ein innerer Widerspruch erscheinen; sie ist aber nur eine Konsequenz der Arbeitsteilung, die durch die Entwicklung der Photographie notwendig eintreten mußte. Denn diese Entwicklung macht es möglich, rasch eine ungeheure Fülle von Beobachtungsmaterialien anzusammeln, rascher als sie am Orte verarbeitet werden können. Neben dem Fernrohr, womit des Nachts die Platten aufgenommen werden, tritt der Meßapparat, womit am Tage die Platten bearbeitet werden, und diese beiden brauchen nicht in demselben Gebäude, nicht einmal am selben Ort oder in derselben Hemisphäre zu liegen. Allerdings wird in der Regel der Forscher, der die Platten mit bestimmten Absichten nimmt, sie auch weiter verarbeiten wollen; daher sind meist die Laboratoriumsräume den Sternwarten angegliedert. Solche allein stehende Laboratorien, wie das in Groningen, sind trotz der modernen Entwicklung der Photographie dennoch selten geblieben, weil die Arbeitsteilung auch ihre Schwierigkeiten und Nachteile hat; und daß sie sich in diesem Fall so wenig fühlbar machten, war vor allem auch dem Wesen und dem Charakter *Kapteyns* zuzuschreiben. Die Zusammenarbeit zweier Institute und zweier Astronomen in einem solchen Fall erfordert ein hohes Maß von Selbstlosigkeit und Nachgiebigkeit auf beiden Seiten; der Laboratoriumsastronom ist für sein Material immer abhängig von dem guten Willen des Kollegen, der über Notwendigkeiten und Methoden seine eigenen Anschauungen hat und oft seine Zeit für eigene Forschungen braucht. *Kapteyn* war aber gerade der richtige Mann für diese Stellung; sein hoher vorzüglicher Charakter, seine anspruchslose Liebenswürdigkeit, seine selbstlose Liebe zur Wissenschaft, die ihm überall Freunde warben, seine ruhige unverdrossene Ausdauer in der Darlegung seiner Absichten und Ziele machten, daß er nur selten in der Mitarbeit, die er von anderen Astronomen brauchte, enttäuscht wurde. So wie seine langjährige Zusammenarbeit mit *Gill* für beide Männer der Ursprung einer tiefen Freundschaft geworden ist, so ging es nachher mit allen, mit denen er wegen Mitarbeit in engere Beziehung trat.

Die Arbeiten des Groninger Laboratoriums sind zweierlei Art gewesen. Erstens die theoretischen Arbeiten und Rechnungen über die Struktur des Weltalls, über die oben schon gehandelt wurde; die Abhandlungen über mittlere Parallaxe, über die Leuchtkraft der Sterne, und über die Anzahl Sterne verschiedener Größenklassen sind als Nr. 8, Nr. 11 und Nr. 18 der

„Publications of the Astronomical Laboratory at Groningen“ veröffentlicht worden. Zweitens die praktischen Arbeiten: die Untersuchung und Diskussion photographischer Aufnahmen; die in engem Zusammenhang mit den Forschungen über den Bau des Sternsystems standen.

Schon 1889 entwickelte *Kapteyn* den Plan, durch photographische Aufnahmen die Parallaxen schwacher Sterne massenhaft zu bestimmen; es sollte dabei kein Unterschied zwischen Parallaxesternen und Vergleichssternen gemacht werden, sondern von allen beobachteten Sternen sollte die Parallaxe relativ zum Durchschnitt gefunden werden. 1891 besprach er in einer Konferenz der Himmelskarte in Paris diesen Plan mit *Donner*, dem Direktor der Sternwarte in Helsingfors, der sofort bereit war, die nötigen Platten aufzunehmen. Das Besondere des Vorschlages bestand darin, daß alle zur Bestimmung nötigen Expositionen, ein halbes Jahr nacheinander, wenn der Stern durch den Einfluß der Parallaxe am meisten nach Osten und nach Westen von dem normalen Ort abweicht, auf derselben Platte gemacht werden sollten, die dazu ein halbes Jahr unentwickelt aufbewahrt wird. Zur Elimination der Eigenbewegungen wird dieser Zeitraum auf ein Jahr ausgedehnt, damit zum Schluß der Stern wieder in der ersten Parallaxenlage aufgenommen wird. Die Ausführung war derart, daß zuerst drei Bilder in einer kleinen Entfernung vertikal übereinander genommen wurden, ein halbes Jahr später eine zweite Reihe solcher Bilder neben den vorigen, dann sofort eine dritte Reihe daneben, und wieder ein halbes Jahr später eine vierte Reihe von drei Bildern, alle Reihen in gleicher horizontaler Entfernung. Durch die Parallaxe werden die Bilder der beiden mittleren Reihen relativ zu den äußeren verschoben; die Messung der Parallaxe beschränkt sich auf die Messung der relativen Lage benachbarter Bilder, bei der viele systematische Fehler, wie die der Schichtverzerrung, verschwinden und die zufälligen Messungsfehler viel geringer werden als bei der gesonderten Messung verschiedener Platten. In dieser Weise wurden 1891–93 eine Anzahl Platten einiger ausgesuchter Gegenden (der Umgebung der Wolf Rayet-Sterne im Schwan, die beiden Perseushaufen, 61 Cygni u. a.) aufgenommen und 1901–05 eine neue Anzahl; die Vermessung und die gründliche Diskussion finden sich in Nr. 1, 10, 20 der Groninger Publikationen. Es zeigte sich dabei, daß in der Tat die Messungsgenauigkeit eine sehr hohe war: der wahrscheinliche Fehler einer Distanzmessung betrug nur  $0'',065$ , der wahrscheinliche Fehler einer Parallaxenbestimmung aus einer Platte betrug nur  $0'',03$ . Aber zugleich zeigten sich bedeutende systematische, von der Helligkeit abhängige Fehler, die hauptsächlich dadurch entstanden waren, daß die Aufnahmen, um die günstigsten Parallaxefaktoren zu erzielen, das eine Mal weit westlich, ein halbes Jahr später weit östlich von dem Meri-

dian gemacht waren. Es erwies sich daher für künftige Parallaxebestimmungen auf photographischem Wege als absolut notwendig, die Aufnahmen alle in demselben Stundenwinkel, am besten in dem Meridian zu machen.

Im Anschluß an diese Ergebnisse entwickelte *Kapteyn* sofort, im Jahre 1900, den Plan zu einer allgemeinen Durchmusterung von Parallaxen durch photographische Aufnahmen. Um für 800 000 Sterne (bis zur 10. Größe) die Parallaxen mit einem wahrscheinlichen Fehler von  $0'',025$  zu erhalten, würde, wie er nachwies, keine größere Arbeit nötig sein als für die Katalogplatten der internationalen Himmelskarte. Er beschränkte sich jedoch auf den Nachweis der Ausführbarkeit der Arbeit; in der Einleitung erklärt er, er sei zu der Ansicht gekommen, daß durch ein anderes Programm — das er noch nicht näher andeutet — den Bedürfnissen der Wissenschaft besser gedient werden wird.

Den gleichen Grundgedanken wie bei den Parallaxen suchte *Kapteyn* auch bei der Bestimmung der Eigenbewegungen anzuwenden. Indem auf derselben Platte zwei Aufnahmen einer Gegend mit einer großen Anzahl Jahre Zwischenzeit gemacht werden, kann die Bewegung der Sterne in dieser Zwischenzeit durch die hohe Genauigkeit der differentiellen Messungen so genau gefunden werden, daß daraus zuverlässige Werte der Eigenbewegung hervorgehen. Damit wäre eins der lästigsten Hemmnisse bei allen Untersuchungen über den Bau des Weltalls aufgehoben: der Mangel an zuverlässigen Eigenbewegungen für schwache Sterne. Bei der bisherigen Methode, der Vergleichung absoluter Ortsbestimmungen in früherer und in neuerer Zeit, war immer der Übelstand, daß in früheren Zeiten die schwächsten Sterne entweder nicht oder nur sehr ungenau beobachtet worden sind. Man konnte allerdings daran gehen, jetzt den Ort solcher Sterne genau zu bestimmen; aber das würde nur der Nachkommenschaft nach einem halben Jahrhundert zu Eigenbewegungen verhelfen, und für jetzt wäre uns damit nicht geholfen. Die Frage ist nun bloß, ob sich mit der Methode *Kapteyns* eine genügende Genauigkeit erzielen läßt. Wieder war es *Donner*, der in Helsingfors die Platten nahm, die zur Prüfung der Methode dienen sollten: um, nach den Worten *Kapteyns*, „zu untersuchen, ob die Methode nicht eine Bestimmung im Großen von genauen Eigenbewegungen gestatten würde und welche Bedingungen erforderlich sein würden, um die reichste Ernte an Ergebnissen in kurzer Zeit und mit dem geringsten Arbeitsaufwand zu erzielen“. Aus Furcht, daß die Platten sich nicht länger halten möchten, wurden die zweiten Aufnahmen schon vier und fünf Jahre (1896–1901) nach den ersten gemacht; es zeigte sich aber, daß, gehörig in verlöteten Kästen vor Feuchtigkeit geschützt, die Platten viel längere Zeit gut bleiben würden. Trotzdem wurden mittels dieser Platten (wofür



die Hyaden ausgewählt waren, um unter den schwachen Sternen die Mitglieder des Hyadenhaufens durch die Bewegung zu erkennen) die Eigenbewegungen mit einem wahrscheinlichen Fehler von nur wenig über  $0",01$  pro Jahr gefunden; es zeigte sich, daß bei einem Zeitintervall von 10 Jahren eine einzige Platte schon gerade so genaue Eigenbewegungen geben kann, wie der Katalog Auwers-Bradley sie für die helleren Sterne bis zur 6. Größe gab. Die Zweckmäßigkeit der Methode war damit erwiesen, und für verschiedene andere besonders ausgewählte Gegenden des Himmels wurde in dieser Weise in Groningen die Bewegung der schwächsten Sternklassen bestimmt.

## VI.

Die berühmteste unter allen Nummern der Groninger Publikationen, sagt *Eddington* in einem *Kapteyn* gewidmeten Nachruf, ist wohl Nr. 6 — deshalb, weil sie nie geschrieben und herausgegeben ist. Alle anderen, von 1 bis 5 und von 7 bis 31 stehen in der Reihe, aber diese fehlt und wird bleibend fehlen. Damit hängt eine der wichtigsten Entdeckungen *Kapteyns* zusammen.

Als er sein Studium der Struktur des Sternsystems aufnahm, hatte er einen anderen Weg im Kopfe als er schließlich einschlug. Wohl von der Tatsache ausgehend, daß die Eigenbewegungen ein besseres Maß für die Entfernung abgeben als die scheinbaren Helligkeiten, daß also die Geschwindigkeiten nicht so enorm auseinandergehen wie die absoluten Helligkeiten, wollte er jene zur Auffindung der Dichtigkeitsverteilung benutzen. Sein erstes Ziel war also, das erste statistische Gesetz abzuleiten, das Gesetz, nach welchem die Geschwindigkeiten verteilt sind. Zwar wurden die Eigenbewegungen durch den Einfluß der Sonnenbewegung gefälscht; aber in der Querbewegung, der Komponente der Eigenbewegung senkrecht zur Sonnenbewegung, war dieser Einfluß nicht vorhanden. Er entwickelte daher die Theorie und leitete die Formeln ab, mittels deren — unter der Voraussetzung, daß die eigenen pekuliären Bewegungen der Sterne nach dem Zufall verteilt sind und keine Richtung bevorzugen — aus der scheinbaren Verteilung der Querbewegungen das wirkliche Verteilungsgesetz der Geschwindigkeiten gefunden werden konnte. Diese Formeln finden sich in Nr. 5 der Groninger Publikationen, die den Titel trägt: „Über die Verteilung der kosmischen Geschwindigkeiten. Teil I. Theorie“ (1900). Der Anwendung der Formeln auf die Auwers-Bradley-Eigenbewegungen sollte die nächste Nummer gewidmet sein. Aber schon vorher war er auf Schwierigkeiten gestoßen, die er bereits 1895 in einer ersten Mitteilung der wichtigsten Formeln erwähnt und dann 1897 näher nachweist. Zuerst glaubte er die Ursache in fehlerhaften Annahmen über *den Apex der Sonnenbewegung* finden zu können; neue gründliche Untersuchungen über die verschiedenen Me-

thoden der Apexbestimmung und eine sorgfältige Neubestimmung seiner Position (im Jahre 1901 in den Astronomischen Nachrichten) ergaben jedoch eine so geringe Abweichung gegenüber der alten Annahme, daß dieser Verdacht sich als unbegründet erwies. Es mußte also *eine Anomalie in den Sternbewegungen* selbst stecken. Die Tatsachen wollten sich den Formeln nicht fügen; die Ableitung des Geschwindigkeitsgesetzes konnte nicht durchgeführt werden; Nr. 6 blieb ungeschrieben. Der Weg, den er zur Erforschung der Verteilung der Sterne im Weltraum hatte einschlagen wollen, schien blockiert zu sein. Daher entschloß er sich 1900, einen andern Weg einzuschlagen: er ging nun daran, mittels des anderen statistischen Gesetzes, des Häufigkeitsgesetzes der Leuchtkraft, die räumliche Dichtigkeit zu erforschen; und auf diesem Wege erzielte er dann, wie wir oben sahen, einen vollen Erfolg.

Aber die Erforschung des sonderbaren Verhaltens der Eigenbewegungen ließ ihn nicht los. Da die Anomalie sich in regelmäßiger und deutlicher Weise mit dem Ort am Himmel änderte, war es zweifellos, daß sie irgendeinem allgemeinen einfachen Gesetz folgen mußte. Eine eingehendere Untersuchung führte ihn 1902 auf die Ursache, und nach noch einigen Prüfungen gab er die Hauptsache seiner Resultate zuerst 1904 in Amerika auf einer Astronomenversammlung in St. Louis bekannt. Im nächsten Jahre fuhr er nach Südafrika, wo er in einem Vortrag „*Sternströme*“ die neue Entdeckung vor der Versammlung der „British Association“ auseinandersetzte.

Die Verteilung der Sternbewegungen läßt sich am besten veranschaulichen, wenn man alle Sterne eines begrenzten Gebietes in einem Punkte zusammengedrängt denkt und von diesem Punkte aus ihre allseitig gerichteten Eigenbewegungen durch Pfeile darstellt. Wären die pekuliären Bewegungen regellos verteilt und käme nur der Einfluß der Bewegung des Sonnensystems hinzu, so müßten die Pfeile sich in der Richtung zum Antiapex zusammendrängen, in der Richtung zum Apex hin am seltensten und am kürzesten sein, im übrigen aber symmetrisch zu beiden Seiten der Richtung zum Apex verteilt sein. In Wirklichkeit zeigten die Bewegungen in den meisten Gebieten eine viel unregelmäßigere Verteilung; es war nicht *eine* Vorzugsrichtung zum Antiapex vorhanden, sondern es zeigten sich *zwei Vorzugsrichtungen* schief zueinander. Zeichnete man auf die Himmelskugel diese Vorzugsrichtungen für jede Stelle des Himmels ein, so ergab sich, daß sie nach zwei Konvergenzpunkten gerichtet waren, deren einer im Sternbilde Orion, der andere im Schützen lag. Während man vorher nur eine (scheinbare) Strömung der Sterne zum Antiapex annahm, zeigten sich in der Praxis zwei Strömungen. Wenn aber die Sterne in zwei Ströme zerfallen, müssen die Strombewegungen in bezug auf den Schwerpunkt des ganzen Systems ein-

ander entgegengesetzt sein, da die relative Bewegung der beiden Ströme das einzig Wirkliche ist. Nur weil unser Sonnensystem sich auch in bezug auf diesen Schwerpunkt bewegt, erscheinen die Ströme in bezug auf uns nicht entgegengesetzt und ihre Konvergenzpunkte (von *Kapteyn* „vertices“ genannt)  $140^\circ$  statt  $180^\circ$  voneinander entfernt. Man kann also aus den scheinbaren Konvergenzpunkten sowohl die Sonnenbewegung wie auch die wirkliche Stromrichtung und die wirklichen Vertices finden; für letztere ergab sich RA  $91^\circ$  Decl.  $+13^\circ$  und der dem gegenüberliegende Punkt des Himmels RA  $271^\circ$  Decl.  $-13^\circ$ .

Diese Entdeckung, die *Eddington* neulich unter den sechs wichtigsten Fortschritten der Astronomie seit einem Jahrhundert aufzählte, löste mit einem Schlage die vielen Schwierigkeiten und Widersprüche, die früher bei dem Studium der Eigenbewegungen und der Sonnenbewegung hervorgetreten waren. Die Tatsache selbst, das Vorherrschen zweier bestimmter Stromrichtungen, war, einmal erkannt, leicht überall wiederzufinden. Bald wurde sie von *Eddington* und *Dyson* 1907—1911 in einer Reihe schöner Untersuchungen an anderen Beobachtungsmaterialien, namentlich schwacher Sterne, bestätigt. *Schwarzschild* wies 1907 nach, daß man die Bevorzugung zweier Bewegungsrichtungen gleich gut durch eine ellipsoidische Verteilung der Geschwindigkeiten oder durch zwei unabhängige Ströme darstellen könne. *Kapteyn* hielt aber an dem Gedanken zweier Ströme fest und arbeitete die Hypothese aus, daß durch die gegenseitige Durchdringung zweier ursprünglich getrennter Haufen unser Sternsystem entstanden sei. Da sowohl die Vertexrichtung wie die Bewegungsrichtung kleinerer sich zusammenbewegender Haufen (Sterntriften, wie die Bärensterne, die Hyaden, die Perseusgruppe) alle in der Ebene der Milchstraße liegen, sprach er die Vermutung aus, daß die Ausbreitung unseres Sternsystems in der galaktischen Ebene in diesen Stromrichtungen ihre Ursache findet.

Mit dieser Entdeckung der Sternströme waren nun die Geheimnisse der Sternbewegungen keineswegs gelöst; im Gegenteil, die Erscheinung zeigte sich allmählich verwickelter, als anfangs gedacht war, und neue Probleme tauchten auf. Die verschiedenen Spektraltypen verteilten sich ungleichmäßig auf die beiden Ströme: der zweite Strom enthält relativ weniger Sterne des ersten Typus und fast keine Heliumsterne. Die Zielpunkte, die Vertices, sind für die verschiedenen Spektralklassen etwas verschieden; ihre galaktische Länge ist um so größer, um so jünger der Typus. Und schließlich zeigte sich, daß die zufälligen pekuliären Bewegungen, die nach Abzug der Strombewegung übrigbleiben, um so kleiner werden, um so jünger der Typus. Für Heliumsterne sind die Abweichungen von einer wirklichen Parallelität der Bewegung schon sehr gering. *Kapteyn* benutzte 1916—1917 diese Eigen-

schaft (in ähnlicher Weise, wie es bei den Sterntriften schon oft geschehen war), um mittels der radialen Geschwindigkeit die individuellen Parallaxen der Heliumsterne (um  $0'',008$ ) und des damit zusammenhängenden Orionnebels zu bestimmen. Er wies darauf hin, daß eine Berechnung der Entfernung mittels der Annahme, daß die ganze beobachtete Bewegung Strombewegung sei, zwar keine genau richtigen, aber doch angenäherte Parallaxen gibt, deren Fehler sogar bei den anderen Sterntypen noch gering genug sind, um für manche Untersuchungen brauchbar zu sein.

## VII.

Bei jeder seiner Untersuchungen bestand die Arbeitsweise *Kapteyns* darin, bei der Anwendung einer von ihm erdachten Methode das vorhandene Material bis zum Äußersten auszunutzen, aber dadurch zugleich die Mangelhaftigkeit dieses Materials nachzuweisen und die Notwendigkeit seiner Erweiterung durch neue Beobachtungen zu zeigen. So bei den Parallaxen, den Eigenbewegungen, den Sternzählungen. Bisweilen machte er auch Vorschläge zu Beobachtungsprogrammen, die zwar nicht die Kräfte der damaligen Astronomie überstiegen, aber doch zu umfangreich waren, um die meist mit eigenen Arbeiten beschäftigten Astronomen zur Ausführung zu reizen. Die Schwierigkeit lag vor allem in der gewaltigen Zunahme der zu beobachtenden Objekte, sobald man zu schwächeren Sternen übergeht. Von 800 000 Sternen bis zur 9. oder 10. Größe waren der ungefähre Ort und die ungefähre Größe bekannt; ihre Eigenbewegung, Parallaxe, Spektrum, radiale Geschwindigkeit zu bestimmen, würde die Kräfte einer Anzahl Sternwarten mehrere Jahrzehnte in Anspruch nehmen. Und dann war man bloß bis zur 10. Größe gekommen; wie sollte es erst werden, wenn man die 10 Millionen Sterne bis zur 14. Größe in dieser Weise behandeln wollte? Beschränkung war daher notwendig. Es war auch keineswegs nötig, alle 10 Millionen zu untersuchen; hätte man die Data für ein Hundertstel dieser Zahl, so wäre uns genau so gut geholfen. Eine Auswahl mußte also getroffen werden; aber bei einer Auswahl war immer die Gefahr, daß das beschränkte Material durch die Art der Wahl nicht völlig mit der Gesamtmasse übereinstimmte. Eine Auswahl war nötig, die keine Auswahl war und völlig den Zufall walten ließ; dem konnte dadurch genügt werden, daß statt des ganzen Himmels eine Anzahl kleiner Gebiete untersucht würden, die geometrisch-regelmäßig verteilt sind.

Dieser Plan wuchs zuerst auf als Programm für die Arbeiten des Groninger Laboratoriums, als Programm für die Aufnahmen, die von anderen Sternwarten erbeten und in Groningen vermessen werden sollten, um als Material zum Studium der Weltstruktur zu dienen. Aber indem das Programm mit seinen Zielen wuchs,



zeigte sich immer deutlicher, daß es für ein einziges Institut zu umfangreich wurde; Mitarbeit verschiedenster Art von seiten anderer Astronomen war notwendig. *Kapteyn* sprach dann dieses Programm mit verschiedenen Kollegen durch; auf der Fahrt nach Südafrika 1905 bildete es einen Hauptgegenstand der Beratungen der „Astronomical Society of the Atlantic“, die an Bord für die Zeit der Seereise gegründet wurde. Nachdem er die Zustimmung und die Zusage der Mitarbeit von verschiedenen Astronomen erhalten hatte, und als nach vielen Korrespondenzen die Einzelheiten geregelt waren, veröffentlichte er 1906 seine kleine Schrift „*Plan of selected Areas*“, die die Taktik dieses Generalangriffs auf das Problem der Struktur des Sternsystems in allen Punkten auseinandersetzte.

Für 206 Gebiete, regelmäßig über die Parallelkreise  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  usw. von Pol zu Pol verteilt, ungefähr ein Quadratgrad groß, sollten alle wichtigen astronomischen Daten bis zu der tiefstmöglichen Grenze bestimmt werden: für alle Sterne (ungefähr 200 000 an Zahl) die genaue visuelle und photographische Größe; für eine kleinere Zahl, gleichmäßig über alle Größen verteilt, die Eigenbewegung und Parallaxe; für so viele, als mit den vorhandenen Hilfsmitteln erreichbar waren, Spektrum und visuelle Geschwindigkeit. Es werden also planmäßig Stichproben des Weltalls gemacht; in 206 Richtungen werden, bis in die fernsten Tiefen des Sternsystems reichend, schmale Schächte gebohrt und der Bestand gründlich untersucht; die übrigen  $199/200$  des Raumes werden unbeachtet gelassen. Während so die Durchschnittswerte und die statistischen Verteilungsgesetze gut herauskommen werden, können besonders interessante Gegenden, wo sich besondere Anhäufungen oder Leeren vorfinden, zufällig unbeachtet bleiben. Deshalb wurde, vor allem auf Veranlassung *Pickering's*, ein Plan von 46 speziellen Gebieten hinzugefügt, meist in der Milchstraße, die auffallende Abweichungen von der mittleren Struktur zeigen. Methoden und Ausichten wurden in der Schrift ausführlich diskutiert. Mitarbeit wurde von verschiedenen Seiten zugesagt; die Harvard-Sternwarte in Cambridge mit ihrer Filiale in Arequipa (Peru) sorgte für die Durchmusterungsaufnahmen und für die Spektre; an der Kap-Sternwarte wurden Parallaxe- und Eigenbewegungsaufnahmen für den südlichen, in Oxford und auf der Yerkessternwarte für den nördlichen Himmel gemacht; die Arbeit der Vermessung aller dieser Platten, zu groß für Groningen allein, wurde zum Teil von Kopenhagen, Columbia College und Vassar College übernommen. Mount Wilson sucht mit seinen Riesinstrumenten die Data auf noch schwächere Sternklassen auszudehnen. Allerdings blieb es schwierig, überall den hohen Anforderungen mit den vorhandenen Hilfsmitteln zu genügen; einige Teile des Programms sind noch

kaum in Angriff genommen. Aber auch ohne daß alles wie am Schnürchen läuft, ist mit dem „*Plan of Selected Areas*“ viel gewonnen. Jeder Astronom, der auf irgendeinem Gebiete Beobachtungen schwacher Sterne machen will und unter der unmöglichen Masse einen Teil auswählen muß, wird seine Wahl jetzt auf die *Selected Areas* richten, weil dabei die besten Erfolge sicher sind; die Auswahl ist ein für allemal gemacht und durch die höchste Autorität gestützt.

Weil die fortwährende Leitung und Überwachung eines solchen Unternehmens eine zu schwierige Aufgabe für eine Person war, und sei es auch *Kapteyn*, bildete sich dazu eine Kommission, in die neben ihm *Pickering*, *Gill*, *Hale*, *Küstner*, *Schwarzschild*, *Adams* und *Dyson* eintraten. Zweimal ist sie zusammengetreten und hat einen Bericht über die Fortschritte erstattet. Dann brach der Weltkrieg aus und hat die Bande internationaler Geistesarbeit zerrissen. Nichts hat *Kapteyn* in seinen letzten Lebensjahren so niedergedrückt als die Tatsache, daß so viele Naturforscher die Wissenschaft ihrer nationalen Politik opferten und damit die internationale Zusammenarbeit auf Jahre hinaus unmöglich machten. Gerade für ihn, dessen Lebensarbeit die Organisation astronomischer Forschungstätigkeit über die ganze Welt auf einer gemeinsamen Linie war, war es wie ein Riß, zwar nicht durch sein Werk — die Einzelforschungen, die er veranlaßt hat, gingen doch weiter —, aber durch die geistige Atmosphäre, in der es eingebettet war.

Auch noch in anderer Weise hat der Weltkrieg seine Arbeit auf internationalem Gebiet beeinträchtigt. Als im Jahre 1905 das *Sonnenobservatorium auf Mount Wilson* gegründet worden war, und dort (trotz des Namens) viele Untersuchungen über Stellarastronomie in Angriff genommen wurden, hatte der Direktor *Hale* dafür auch die ständige Mitarbeit *Kapteyn's* gewonnen, und zwar in der Form, daß *Kapteyn* zum „*Research Associate*“ des Observatoriums ernannt wurde. Er zog nun seit 1907 jedes Jahr einige Sommermonate mit seiner Frau nach Mount Wilson. (Sein Haushalt war der einzige, der oben auf dem Berge sein durfte; alle Astronomen hatten sonst ihre Familie unten in der Stadt.) Dort wurde dann gearbeitet, beobachtet, diskutiert, experimentiert; und durch den Reiz seiner heiteren glücklichen Natur und seiner ewig jungen Begeisterung sowie durch seine Sachkenntnis war er dann in den Fragen der Stellarastronomie das geistige Haupt der kleinen Astronomengemeinschaft dort oben. Dort hatte er, um neue Gedanken zu erproben und neue Materialien zu beschaffen, das bestausgestattete Observatorium mit einem Stab geübter Astronomen unmittelbar zu seiner Verfügung und konnte im täglichen freundschaftlichen Verkehr ihre wichtigen Arbeiten ratgebend beeinflussen. Eine ganze Anzahl Verhandlungen sind von ihm in den „*Contributions*“

of Mount Wilson Observatory“ erschienen: Siebenmal bis zuletzt 1914 ist er hinüber gefahren; dann hat der Krieg auch hier störend eingegriffen. Er hatte die Absicht, nach der Beendigung seiner Lehrtätigkeit in Groningen noch einmal hinzugehen; aber er ist nicht mehr dazu gekommen.

### VIII.

Das letzte Jahrzehnt hat die ersten Früchte seiner Organisationstätigkeit reifen sehen. Was er früher an ungenügendem Material erprobt, konnte jetzt mit den inzwischen mächtig angewachsenen Beobachtungsdaten, von denen ein Teil durch die Groninger Messungen selbst geliefert wurde, auf sicheren Boden gestellt werden.

Am ersten fertig von dem „Plan of Selected Areas“ waren die Durchmusterungsplatten, die in Harvard aufgenommen waren und alle in Groningen vermessen wurden; die Größenskala war durch besondere Aufnahmen zusammen mit der Harvard Normalreihe von Polsternen festgelegt worden. So lieferte jedes Gebiet (Quadrat von 80, 60 oder 40 Minuten Seite je nach der geringeren oder größeren Fülle der Sterne) einen Sternkatalog mit genauen photographischen Größen, bis zu einer Grenzhelligkeit in der Nähe der 15. Größe. Damit war es seinem Schüler (und jetzigem Nachfolger) *van Rhyn* im Jahre 1917 möglich, die Anzahl der Sterne der verschiedenen Größenklassen in der photographischen Skala bis zur 15. oder 16. Größe in ihrer Abhängigkeit von der galaktischen Breite mit einer viel größeren Genauigkeit zu bestimmen, als es früher mit der visuellen Skala möglich gewesen war.

Die Vermessung einer Anzahl Eigenbewegungsplatten aus Helsingfors und Kapstadt wurde in einer Neubestimmung des Häufigkeitsgesetzes der Leuchtkraft verwertet. Das kolossal angewachsene Material an gemessenen Parallaxen wurde durch eine neue Ableitung der parallaktischen Bewegung für die schwächsten Klassen ergänzt; während aus Sternkatalogen Werte bis zur 9. Größe abgeleitet wurden, gestatteten die photographischen Vermessungen diese bis zur 12. Größe auszudehnen. Auch die Verteilung der Sterne bis zu sehr schwachen Klassen über verschiedene Werte der Eigenbewegung und über verschiedene Spektralklassen wurde neu bestimmt (in Nr. 29 und 30 der Groninger Publikationen). So ungeheuer war das Material angewachsen, daß die Daten, auf denen die alte Ableitung des Häufigkeitsgesetzes beruhte, fast wie ein Nichts erschienen. Mußte damals die Kunst Bewunderung wecken, aus wie schwachem Material durch geschickte Handhabung ein völlig unbekanntes und unvermutetes Gesetz in bedeutender Annäherung gefunden wurde, so jetzt die Fähigkeit, womit ein reiches, fast bis zur Unübersichtlichkeit verschiedenartiges Material einheitlich modelliert, zurechtgefeilt und zusammengeschmiedet wurde. Das Resultat für die *Häufigkeitskurve* war im Jahre 1920 eine viel genauere Bestimmung ihrer Gestalt

als früher möglich gewesen war. Die früher gefundene Gestalt wurde bestätigt; aber jetzt war es möglich, ihren Bereich nach beiden Seiten auszudehnen, und zwar bis über das Maximum hinaus auf den absteigenden Ast, wo für schwächere Sterne die Anzahl wieder abnimmt. Von einer absoluten Größe — 5 bis + 13 (also von Sternen 16 000mal heller bis 1000mal schwächer als die Sonne) schmiegen sich die beobachteten Werte so genau der quadratischen Formel des Gaußschen Fehlergesetzes an, daß *Kapteyn* erklären konnte, nirgends in dem Gebiete der Naturwissenschaft sei eine so vollkommene Übereinstimmung mit dem Wahrscheinlichkeitsgesetz über einen so weiten Bereich (10mal die „wahrscheinliche“ Abweichung) zu verzeichnen. Das Maximum der Häufigkeit findet für die absolute Größe 7,69 statt (2,2 Größen schwächer als die Sonne); der Genauigkeitsmodul ist  $0,2818^2$ , d. h. für Sterne  $1/0,2818 = 3,55$  Größen heller oder schwächer als das Maximum sinkt die Anzahl auf  $1/e$ . Die allgemeine Formel lautet:

$\log \Phi(M) = -2,394 + 0,1858 M - 0,03450 M^2$  wo  $\Phi(M)$  die Anzahl Sterne pro Kubikparsek in der Umgebung der Sonne ist,  $M$  die absolute Größe, wie wir sie früher definierten, um fünf verringert, also gültig für ein Parsek Entfernung.

Zugleich mit der Häufigkeitskurve wird (wie oben schon dargelegt) durch die von *Kapteyn* angewandte Methode auch das *Dichtigkeitsgesetz* gefunden: im Durchschnitt war die Dichtigkeit in einer Entfernung von 100 Parsek auf 0,7, von 500 Parsek auf 0,2, von 1000 Parsek auf 0,05 der zentralen Dichtigkeit gesunken. Genauer läßt sich diese Abnahme berechnen, wenn man aus den Sternzählungen das empirische Gesetz der Sternzahl als Funktion der beobachteten Grenzgröße hinzuzieht, wobei zugleich die Abhängigkeit von der galaktischen Breite scharf herauskommt. Durch Benutzung der *Schwarzschild'schen* Formeln für die größeren Distanzen, anschließend an die direkten Ergebnisse für die Umgebung der Sonne, wurde die Sterndichtigkeit als Funktion der Entfernung und der galaktischen Breite zusammen abgeleitet. Die Dichtigkeit 0,40 findet sich für die Breite  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $90^\circ$  auf 910, 320, 250 Parsek Entfernung; die Dichtigkeit 0,063 auf 3500, 1300, 660 Parsek, die Dichtigkeit 0,01 auf 8900, 3300, 1200 Parsek. Diese Zahlen gestatten durch das Sternsystem einen Meridianschnitt zu legen, in welchem die Linien gleicher Dichtigkeit wie stark abgeplattete Ellipsen, an den Polen etwas eingedrückt, erscheinen. Das Sternsystem wird damit als eine *abgeplattete Rotationsfigur* gegeben, in der die Dichtigkeit von innen nach außen abnimmt; die einander umschließenden Flächen gleicher Dichtigkeit ähneln abgeplatteten Rotationsellipsoiden. Das bedeutet nicht, daß damit die Gestalt als eine Rotationsfigur gefunden ist; indem von vornherein nur eine Abhängigkeit von Distanz und galaktischer Breite angenommen war,



war die Rotationsfigur vorausgesetzt und konnte nichts anderes herauskommen. *Kapteyn* hat bei allen seinen Untersuchungen von den Unterschieden nach galaktischer Länge abgesehen und sich absichtlich auf das beschränkt, was er am Schluß dieser Abhandlung die zweite Annäherung nennt; die Unregelmäßigkeiten nach der Länge und nach den besonderen Milchstraßengebilden zu studieren, hat er seinen Nachfolgern überlassen.

War damit also das erste Ziel, die Struktur des Sternsystems in seinen Hauptzügen, erreicht, so gab *Kapteyn* sich damit nicht zufrieden. In seiner letzten großen Arbeit, im Jahre 1921, macht er einen ersten Versuch, von dieser geometrischen Anordnung zu einer *dynamischen Theorie des Sternsystems* aufzusteigen. Nachdem er erforscht hatte, wie das System aufgebaut war, stellte er die Frage, weshalb, durch welche Kräfte, durch welche Bewegungen das System eine solche Struktur haben müsse und in Gleichgewicht bleiben könne. Um die Anziehungskräfte leicht berechnen zu können, nimmt er für die Flächen gleicher Dichtigkeit zehn gleichförmige Rotationsellipsoide an, deren galaktische Äquatorachsen 5,1mal die Polachsen sind, zwischen denen sich Schalen abnehmender bekannter Sterndichte befinden. Eine solche abgeplattete Figur kann nur in Gleichgewicht sein, wenn sie um die Polachse rotiert. In der Richtung des Pols hat die Rotation keinen Einfluß und wirkt nur die Anziehung; *Kapteyn* führt dafür nun die Hypothese durch, daß die Abnahme der Dichtigkeit vom Zentrum nach außen ein Gleichgewichtszustand ist, vergleichbar mit der Abnahme der Dichtigkeit einer Atmosphäre nach oben unter dem Einfluß der Schwere. Der Gedanke, ein Sternsystem mit einer Gasmasse und die Einzelsterne mit den Molekeln zu vergleichen, ist schon öfters angewandt worden; man muß dann zum Vergleich ein Gas in äußerst verdünntem Zustande nehmen, wobei Zusammenstöße äußerst selten sind. Die Anwendung der bekannten Gleichgewichtsformeln der Atmosphäre liefert eine Beziehung zwischen mittlerer Geschwindigkeit der Sterne und ihrer Anziehungskraft, d. h. (da ihre Anzahl bekannt ist) ihrer mittleren Masse; das Resultat für die mittlere Masse: 2,2—1,4 Sonnenmasse stimmt so gut überein mit dem, was aus Doppelsternbahnen bekannt ist, daß man sagen kann, die Dichtigkeitsverteilung der Polachse entlang ist gerade so wie sie sich als Gleichgewichtszustand unter der Wirkung der Attraktion des Sternsystems selbst einstellen muß.

In der galaktischen Ebene sowie in den mittleren Breiten kommt nun die Rotation hinzu; ähnlich wie in einer abgeplatteten rotierenden Flüssigkeitsmasse steht nicht die Anziehung, sondern die Resultante von Anziehung und Zentrifugalkraft senkrecht zu den Ellipsoidflächen, und die durch die Zentrifugalkraft verringerte Anziehung bewirkt die sehr langsame Abnahme der Dichtigkeit mit der Entfernung

in der Milchstraßenebene. Allerdings fehlt für eine Rotation des Systems als Ganzes jede experimentelle Grundlage; jeder Versuch, sie nachzuweisen, ist bisher gescheitert. Aber der gleiche Effekt auf die Gestalt wird erreicht, wenn die Sterne in zwei entgegengesetzten Richtungen rotieren; da Zusammenstöße keine Rolle spielen, stören diese Bewegungen einander nicht. Damit hat *Kapteyn* einen Gedanken von *Schwarzschild*, das Phänomen der Sternströmungen durch entgegengesetzte Rotationsbewegungen zu erklären, wieder aufgenommen. Er konnte aus den Gleichgewichtsbedingungen und der Gestalt die Rotationsgeschwindigkeiten berechnen: während die Rotationszeiten von der Ordnung 100 Million Jahre sind, nehmen von dem Zentrum ab die Geschwindigkeiten erst regelmäßig zu, erreichen bei 1000 Parsek den Betrag von 13 km, und bleiben dann für größere Entfernungen als 2000 Parsek ziemlich konstant, zwischen 20 und 18 km. Da nun bekannt ist, daß die relative Geschwindigkeit der beiden Sternströme 40 km ist, findet sich hier in der Tat eine ungezwungene und einfache Erklärung der Sternströme. Wir müssen dann annehmen, daß die Sonne sich ein gutes Stück außerhalb des Zentrums des Systems befindet, damit in ihrer nächsten Umgebung eine Strömung dieses Betrages möglich ist. Auf Grund der beobachteten mittleren Dichtigkeiten in verschiedener Entfernung von der Sonne einerseits, die eine zu große Entfernung ausschließen, der beobachteten Stromgeschwindigkeit andererseits, die eine zu kleine Entfernung ausschließt, kommt *Kapteyn* zu der Schätzung von 650 Parsek für die Distanz der Sonne vom Zentrum des Systems. Die Richtung nach diesem Zentrum muß senkrecht zu der Stromrichtung, also  $90^\circ$  von den Vertices entfernt liegen, entweder auf  $77^\circ$  Länge in Cassiopeia (AR.  $23^h 10^m$  Decl.  $+57^\circ$ ) oder demgegenüber auf  $257^\circ$  im Schiff. *Kapteyn* erachtet den ersteren Wert als den wahrscheinlichsten, da mehrere Forscher den Schwerpunkt des Systems in jener Gegend gefunden haben.

Mit dieser Theorie war zum erstenmal das Sternsystem als ein Organismus dargestellt, indem ein Zusammenhang zwischen dem geometrischen Element der äußeren Struktur, dem kinetischen Element der Bewegungsgesetze und dem dynamischen Element der Massen und ihrer Anziehung hergestellt wurde. Sie bildet den Abschluß seiner Arbeiten über die Struktur des Weltalls, indem sie mit diesem ersten Versuch an einem vereinfachten schematischen System schon einen Fuß in das Gebiet der Zukunftsforschung setzt. *Kapteyn* hat diese Theorie 1921 in der Potsdamer Versammlung der Astronomischen Gesellschaft und in der Edinburger Versammlung der British Association auseinandergesetzt und mit verschiedenen Kollegen besprochen. Sie ist in der Mainnummer 1922 des *Astrophysical Journal* unter der Überschrift „The sidereal system“ veröffentlicht worden.

## IX.

Als *Kapteyn* diese Theorie ausarbeitete, war er noch voll der kräftigsten Schaffenslust. Er zog, als er wegen der erreichten siebenzig Jahre sein Lehramt in Groningen niederlegen mußte, nach Leiden, um bei der Reorganisation der Sternwarte Mithilfe zu leisten. Da plante er neue Untersuchungen, besonders zur Prüfung des Fundamentalsystems der Sternörter, während er zugleich die Ableitung der Endergebnisse aus den älteren Leidener Beobachtungen beaufsichtigte. Aber im nächsten Frühjahr zeigten sich immer stärker die Symptome einer unheilbaren Krankheit, und am 18. Juni verschied er.

Ein Forscherleben ist abgeschlossen so reich an Ergebnissen wie nur selten eins. Es war ganz dem Studium der Struktur des Sternsystems gewidmet; und seit den *Herschels* hat wohl keiner auf diesem Gebiet so Großes geleistet wie er. Er wird auch darin dem älteren *Herschel* verglichen, daß durch seine Arbeit die Wissenschaft der Fixsternwelt so völlig umgewandelt und erneuert ist, daß sie wie neugeschaffen erscheint. Glück und Genialität mußten dazu zusammenkommen. Er hatte das Glück, schon als junger Mann frei und selbständig seinen eigenen Weg wählen zu dürfen und, ohne durch überkommene Pflichten der Direktion eines bestehenden Instituts in Anspruch genommen zu werden, seine ganze Tätigkeit den eigen gewählten Forschungsobjekten widmen zu können. Worin seine Genialität lag, beschreibt sein Schüler *de Sitter* in der Weise: Es gibt Gelehrte, deren Veranlagung sie zum Beherrschen der großen Probleme, zum Sammeln der vielen Tatsachen zu einem Ganzen befähigt. Es gibt andere, die zum Ausarbeiten der Einzelheiten, zur ausdauernden Überwindung der Schwierigkeiten der Praxis geeignet sind. Bei *Kapteyn* waren beide Veranlagungen in seltener Weise in einer Person vereinigt. Er überblickte das Ganze und konnte zu jedem Detail Anweisungen geben oder nahm es selbst zur Hand. Wenn nötig, scheute er keine Mühe, eine Nebenfrage bis zum Äußersten zu klären, aber nie ließ er sich dazu hinreißen, sie weiter zu verfolgen als zum Ganzen nötig war. Und *Eddington* sagt von ihm: „Seine mathematische Begabung war effektiv, aber nicht übermäßig; in der Beobachtung wurde er gehemmt durch die geringen Hilfsmittel des Groninger Laboratoriums. Aber irgendwie in dem Gebiete zwischen Beobachtung und Theorie fand er eine Sphäre, wo ihm so gut wie keiner ebenbürtig war. Ein Instinkt im Erkennen der Richtungen, in denen ein Fortschritt möglich und dringend war, ein offener Geist und eine Phantasie, die einen halbverborgenen Schlüssel zu ergreifen wußte, klare Einsicht in die vorliegenden Probleme, und eine Ausdauer, die durch keine Hindernisse zu entmutigen war — das alles hat mitgeholfen. Wenn wir aber darüber nachdenken, was *Kapteyn* für die Astronomie geleistet hat, müssen wir, glaube ich, zu dem alten Wort

zurückgreifen, das da besagt, daß eine Form des Genies in einer grenzenlosen Fähigkeit, sich Mühe zu geben, besteht.“ Dabei muß noch sein starker Sinn für Realität genannt werden, wodurch er immer die Materie beherrschte, nie von ihr beherrscht und in Seitenwege gedrängt wurde. Nie opferte er der Form das Wesen auf; formelle Schönheitsfehler beschwerten ihn nicht; oft kommt in seinen Schriften die Fußnote vor: „diese Zahl ist durch einen Rechenfehler entstellt, aber der Unterschied ist zu gering, um eine Wiederholung der weiteren Rechnung lohnend zu machen“. Bei allen neuen Resultaten vergaß er nie, streng kritisch die Fehler und Unsicherheitsgrenzen abzuwägen. — Was ihn aber zum Führer in der Wissenschaft machte, war die anziehende Kombination von Geistes- und Charaktereigenschaften. Die Organisation der Forschung, die er schuf, war nicht eine, die auf der Machtvollkommenheit eines Leiters, auch nicht eine, die auf der Beratung und dem gemeinsamen Beschluß eines Kongresses beruht, sondern eine freiwillige Kooperation, durch seine hervorragende und gewinnende Persönlichkeit angeregt und geleitet. Die völlige Beherrschung aller Probleme und Möglichkeiten, die seinen Vorschlägen und Anregungen stets Beachtung seitens der praktischen Astronomen sicherte, war gepaart mit einer Selbstlosigkeit, die Andern immer die volle Ehre gab und nie einen Mißton in der Zusammenarbeit aufkommen ließ. Die Welt der Astronomen hat in ihm nicht nur einen ihrer Größten, sondern zugleich einen ihrer Besten verloren.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

## Der Streit um das Elektron.

Bemerkung zu den Aufsätzen des Herrn R. Bär<sup>1)</sup>.

Der Versuch, die von mir beobachteten Unterschreitungen der elektrischen Ladung des Elektrons an einzelnen kleinen Probekörpern durch eine Unterschreitung der Massendichte der Probekörper zu erklären, stammt schon von *J. Perrin* (1911). Dieser Autor brachte als erster die Hypothese der „schwammartigen Struktur“ solcher kleiner Probekörper auf, nachdem ich bereits bemerkt hatte, daß kleine Goldkugeln die Dichte  $\frac{1}{2}$  haben müßten, wenn man annehmen wollte, daß sie mit der Elektronenladung geladen wären. Vor etwa zwei Jahren schien es, als ob diese Hypothese durch eine andere das gleiche Ziel verfolgende Hypothese *Regeners* verdrängt werden sollte, welcher die Unterschreitungen der Elektronenladung durch die „Adsorption einer Gasschicht“ an den Partikeln erklären wollte. Diese Hypothese scheint nunmehr erledigt zu sein. Ich lasse zu diesem Punkte Herrn *Bär* selbst das Wort ergreifen: „Wenn diese Hypothese (*Regeners*) allgemein zutreffend wäre, müßte man oberhalb einer gewissen Grenze des Teilchenradius immer das richtige Elementarquantum erhalten. Tatsächlich hat man aber an Edelmetallpartikeln, die durch Zerstäubung im elektrischen Bogen oder Funken hergestellt wurden, . . . überhaupt

<sup>1)</sup> Naturw. 10, 1922, 14/15. Vgl. auch Ann. d. Phys. 67, 1922, S. 157.



noch keine oder auch nur angenähert zufriedenstellende Ladungsmessungen ausführen können. Dasselbe gilt auch von den durch elektrische Zerstäubung erzeugten Quecksilberpartikeln. . . . Diese Teilchen haben also offenbar eine schwammartige Struktur oder fetzenförmige Gestalt und sind selbst dann zu Ladungsmessungen nicht zu gebrauchen, wenn sie bereits von der Millikanschen Größe sind.“

Es sei hierzu noch bemerkt, daß sich Unterschreitungen des Elementarquantums auch bei Messungen von durch Verdampfung hergestellten Quecksilberkugeln in Argon, ferner an Silberkugeln, die im Edelgase über den Schmelzpunkt erhitzt und dann wieder zu Kugeln erstarrt sind, und schließlich auch an Öltröpfchen ergeben; auch an diesen erhält man bekanntlich Abweichungen vom Elementarquantum und dessen Vielfachen, was, obwohl lange bestritten, nunmehr schließlich auch hinsichtlich der durch Verdampfung erzeugten Quecksilberkugeln gegeben wird. Trotzdem kehrt Herr Bär, wie man sieht, zur alten Perrinschen Hypothese der schwammartigen Struktur zurück. Die „fetzenförmige“ Gestalt, auf die er persönlich Wert zu legen scheint, ist (ganz abgesehen von der gegenteiligen Aussage meiner Mikrophotographien, welche Kugeln derselben Größe abbilden, an welchen auch Ladungsmessungen vorgenommen wurden, und der vielen anderen Beweise der Kugelgestalt und sonstigen Befunden) wohl erst dann in Erwägung zu ziehen, sobald Herr Bär ein anderes als das Stokes-Cunninghamsche Widerstandsgesetz seinen Betrachtungen zugrunde legen wird. Denn das Stokessche Gesetz und seine modernen Surrogate stehen und fallen mit der kugelförmigen Gestalt der bewegten Teilchen, da der Einfluß einer Abweichung von der kugelförmigen Gestalt auf den Luftwiderstand bekanntlich ein ganz wesentlicher ist. Genau besehen gibt die Methode des Herrn Bär aus den experimentell gemessenen Daten drei Gleichungen mit vier Unbekannten; diese Gleichungen werden nun so interpretiert, daß seine Methode letzten Endes darauf hinausläuft, die Dichte dieser „schwammartigen“ Partikeln geradezu als Unbekannte zu behandeln und eine andere Unbekannte, die Ladung der Partikel, als bekannt anzusehen und dem Elementarquantum gleichzusetzen. Zu welch interessanten Resultaten man dabei gelangt, mögen einige Zahlen aus seinen Arbeiten illustrieren:

Selen. Normale Dichte 4,3. Auftreten von Partikeln bis hinab zur Dichte 0,57.

Paraffin. Normale Dichte 0,88, Auftreten von Partikeln bis hinab zur Dichte 0,39 und hinauf bis zur Dichte 1,5.

Platin. Normale Dichte 21,4, Auftreten von Partikeln bis hinab zur Dichte 0,2.

Herr Bär fügt hinzu: „Darin liegt vielleicht eine gewisse Schwierigkeit, da man sich nicht leicht Platinteilchen von der Dichte 0,2 vorstellen kann. Wir sehen trotzdem keine andere Erklärungsmöglichkeit.“

Vielleicht darf ich hierzu bemerken, daß dieser Platinschwamm des Herrn Bär offenbar nur zu 1 % aus Platin und zu 99 % seines Volumens aus Gas bestehen dürfte<sup>2)</sup>.

Weiteres zu dem von mir behandelten Fragenkomplex der Physik der Größenordnung  $10^{-5}$  cm, Ladungsunterschreitungen, kontinuierliche Ladungsänderungen radioaktiver Probekörper, Photophorese

<sup>2)</sup> Bezüglich der Herstellung von Platinkugeln, die gemäß Mikrophotographie exakte Kugelgestalt haben, vgl. D. Konstantinowsky, Ann. d. Phys., S. 893.

und ferner Optik des einzelnen Teilchens, zu sagen, wird sich nach Abschluß einiger in meinem Institut in Gang befindlicher Untersuchungen Gelegenheit ergeben. Es sei mir hier noch gestattet, eine mehr erkenntniskritische Betrachtung anzufügen, die, abgesehen von dem Umstande, daß man neuerdings mit solcher Bestimmtheit über die Existenz oder Nichtexistenz von Elektronen und den Aufbau der Welt aus „Protonen“ und „Elektronen“ spricht, vielleicht auch von einem allgemeineren Standpunkte aus am Platze ist.

Es scheint mir, als ob es zweierlei Stadien der Naturforschung geben würde, die ich kurz als das kritische und als das unkritische unterscheiden möchte. Ich meine damit etwa den Gegensatz zwischen der von alters überkommenen Auffassung der Forschung als einer *Wahrheitslehre* (naiver Realismus) und der seit Kirchhoff und Mach emporgekommenen modernen Auffassung der Forschung als einer *geeigneten Beschreibung der Erscheinungen*. Der naiven Denkart und daher zunächst jedem Menschen liegt natürlich die erste Richtung näher; so mag es kommen, daß sich sowohl unter der älteren als auch unter der jüngeren Generation noch viele Anhänger derselben befinden, welche von der Physik ein „Weltbild“ erwarten, wie es vielleicht eher Sache der spekulativen Naturphilosophie sein könnte. Gegen diese Richtung, die bei der älteren Generation auf ethische (teleologische), bei der jüngeren auf ästhetische Motive („Harmonie des Weltganzen“) zurückzugehen scheint, zu polemisieren, soll nicht Gegenstand dieser Zeilen sein. Ich wende mich vielmehr nur an jene, welche die Wissenschaft weder mit Motiven des „Guten“ noch des „Schönen“ vermengen, sondern von ihr nur das „Wahre“, das ist nach der kritischen Auffassung das „Wahrscheinliche“, erwarten und sich daher offen zu der Ansicht bekennen, daß die Physik nichts weiter als eine geeignete Beschreibung der Erscheinungen geben soll. Denn manchmal möchte es mir scheinen, als ob diese moderne Ansicht geradezu zu einem häufig nachgesprochenen Gemeinplatz geworden ist, daß sie aber nur Theorie geblieben zu sein scheint und in der Praxis der Forschung wenig beliebt ist. Denn bei den allermeisten physikalischen Hypothesen, die uns seit etwa 1890 (also seit der Erschließung der komplizierteren elektromagnetischen Erscheinungen) beschert worden sind, kann man beobachten, daß sie zur Erklärung einer beschränkten Gruppe von Erscheinungen vollständig hinreichen, dafür aber bei anderen Gruppen von Erscheinungen versagen oder auch Effekte ankündigen, die nicht vorhanden sind. Beispiele brauche ich wohl nicht anzuführen, da sie dem nachdenklichen Fachgenossen vielfach zur Hand sein dürften. Gleichwohl sehen wir es alle Tage, daß trotz dieser Lücken und Widersprüche die betreffenden Hypothesen zu dem Range von bewiesenen abschließenden Erkenntnissen erhoben werden, ohne Rücksicht auf den melancholischen Anblick, den der Friedhof der theoretischen Physik mit seinen vielen Leichensteinen dem rückschauenden Beobachter bietet. Es scheint eben auch der kritischen Richtung nicht anders zu ergehen, wie den sonstigen menschlichen Überzeugungen, die in der Theorie verhimmelt, in der Praxis verleugnet zu werden pflegen. Vielleicht war es daher nicht gänzlich unangebracht, wenn ich bei dieser Sachlage diese unmaßgebliche Betrachtung nicht unterdrückt habe. Ich meine, daß man es dem naiven Realisten nicht verdenken sollte, zu glauben, was er nicht lassen kann. Dem kritischen Forscher jedoch sollte, meine ich, eine

Hypothese nur dann als abgeschlossene Theorie gelten, wenn sie *alles* Bekannte umschließt und nicht nur *einiges*, und wenn sie ferner in allen ihren Folgerungen bestätigt ist. Und selbst dann sollte sie für diesen nur als *vorläufig* abgeschlossen gelten, weil ja, wie die Geschichte der Wissenschaft lehrt, immer noch neue Tatsachen auftreten können, bei denen sie versagt.

Wien, den 13. Juli 1922.

F. Ehrenhaft.

### Zur Krisis des Kausalitätsbegriffes.

Die Einsteinsche Relativitätstheorie, so hieß es zuerst bei einigen historisch orientierten Philosophen, sei nur für die der Gedankenarbeit früherer Generationen unkundigen Naturforscher etwas Neues; in Wirklichkeit fänden sich die modernen Anschauungen über die Relativität der Bewegung und des Raum- und Zeitbegriffes mindestens schon bei *Kant* deutlich ausgesprochen. Einem ähnlichen Mißverständnis scheint jetzt die Quantentheorie zum Opfer zu fallen, wenigstens was das formal Neuartige ihrer Beziehungen betrifft, und leider wohl nicht ganz ohne meine eigene Schuld; denn in einer kürzlich hier wiedergegebenen erkenntniskritischen Studie bemerkt Herr *Petzold*, indem er eine Stelle aus meinem Aufsatz über das Kausalproblem der Quantentheorie<sup>1)</sup> zitiert, daß die von mir aufgeworfenen Fragen und Zweifel bezüglich der erkenntnistheoretischen Grundlagen der Quantentheorie „vor einigen Jahrzehnten von der naturwissenschaftlichen Erkenntnistheorie im wesentlichen behandelt und zu einem Abschluß gebracht“ seien.

Im Zusammenhang der zitierten Stelle ist in meinem Essay von einer Art raumzeitlicher Fernwirkung innerhalb eines Quantenprozesses (Emission und darauf folgende Absorption eines Lichtquanten an einer anderen Stelle) die Rede, und es wird betont, daß die gegenseitige Bedingtheit von Emission und Absorption nicht verständlich wäre, wenn man die Emission in normaler Weise als die zeitlich vorangehende *Ursache* der Absorption ansähe; vielmehr müsse die Wechselbeziehung zwischen Emission und Absorption so aufgefaßt werden, daß beide Vorgänge sich in völlig symmetrischer Weise gegenseitig bedingen. Das veranlaßt Herrn *Petzold*, den Kern und die Lösung der von mir diskutierten Schwierigkeiten in der allerdings schon seit Jahrzehnten geläufigen Umkehrbarkeit des Zeitsinnes in allen Naturgesetzen zu suchen, die ja in dem gleichfalls angegriffenen Aufsatz von *Nernst*<sup>2)</sup> an verschiedenen Beispielen so eindringlich vor Augen geführt wird. Bei aufmerksamem Studium meiner Bemerkungen hätte es aber doch möglich sein müssen, zu erkennen, daß hierin nicht das prinzipiell Neuartige liegt; das Neue ist vielmehr das, daß die genannten Elementarprozesse, die in sich raumzeitlich so fest und eng zusammenhängen, sowohl vorwärts wie rückwärts, ohne angebbaren Zusammenhang mit anderen Elementarerscheinungen sein müssen, also, wie ich es ausdrückte, „keine unmittelbare Ursache und keine unmittelbare Wirkung“ haben dürfen. Nicht ob ein mitt-

leres Glied einer unendlich langen Kette zu dem rechten oder linken Ende dieser Kette zu rechnen sei, ist mehr die Frage, sondern ob die einzelnen Glieder, in sich fest und zäh zusammenhängend, auseinandergerissen und als unabhängig von dem Schicksal der benachbarten Glieder anzusehen seien.

Diese Annahme, die ich in dem zitierten Aufsatz als eine einigermaßen notwendige Folgerung aus den vorliegenden Tatsachen und Gedankengängen darzutun versucht habe, würde in der Tat, wenigstens im Mikrokosmos, jenen gemischt kosmisch-chaotischen Charakter der Naturgesetze bedeuten, auf den Herr *Petzold* zwar als auf eine Denkmöglichkeit hinweist, den er aber sogleich durch eine biologische Schlußweise zu widerlegen sucht. Daß auch der Physiker nicht gerne, wenn auch zugunsten einer erhöhten Gesetzmäßigkeit innerhalb eines Elementarprozesses, auf die Annahme einer gesetzlichen Verknüpfung *aller* Ereignisse (also auf die „Laplacesche Weltformel“ von *Nernst*) verzichten möchte, ist selbstverständlich, und das ist es, was uns von einer Krisis des Kausalbegriffes in der Quantentheorie reden läßt; noch wichtiger aber als dieses Bedenken, das sich durch Gewohnheit abstupfen würde, ist unsere Unkenntnis darüber, wie das Gebiet der „chaotischen“ Ereignisse gegen das der „kosmischen“ abzugrenzen ist — die Quantentheorie der Dispersion, das Bereich der mechanisch oder durch Strahlungsdämpfung aperiodischen Bewegungen, das sind die Gebiete, auf denen wir am meisten unter dieser Unsicherheit leiden.

Daß die angenommene teilweise Unbestimmtheit der Elementarprozesse widersinnig wäre, wenn ihr nicht *makroskopische* Gesetze von statistischem aber sehr allgemeinem Charakter beigelegt zu denken wären, habe ich ebenfalls schon in meinem früheren Aufsatz ausgesprochen; die aus diesen *makroskopischen* Gesetzen folgende Konstanz der Bedingungen allein aber ist es, die durch die biologische Schlußweise von Herrn *Petzold* gestützt werden kann.

Wenn es mir zum Schluß erlaubt ist, zu den Gedanken in *Nernsts* Rektoratsrede und Herrn *Petzolds* Stellungnahme dazu meine Meinung zu äußern, so möchte ich noch folgendes sagen: Wenn Herr *Nernst* von dem vermutlich statistischen Charakter aller Naturgesetze gesprochen hat, derart, daß der Zusammenhang zwischen den (atomistischen) Elementarereignissen, wenigstens für menschliches Denken, nicht begreiflich ist, so meinte er damit doch wohl auch, was Herr *Petzold* in seinen kritischen Bemerkungen als „teilweise chaotisches“ Geschehen bezeichnet hat. Jedenfalls kann die Unmöglichkeit, die gewöhnlichen Naturgesetze mit absoluter Sicherheit zu prüfen, nicht in einen direkten Zusammenhang mit dieser bedeutend weitergehenden Unmöglichkeit der Prognose bestimmter Elementarereignisse (z. B. dem Auftreffen eines bestimmten  $\alpha$ -Teilchens auf einen Diamant) in Zusammenhang gebracht werden. Natürlich wird man vorläufig noch versuchen, durch Einschleiben unbekannter Mechanismen die „Laplacesche Forderung“ auch in diesem Falle zu befriedigen; es liegen aber doch, besonders von der quantentheoretischen Seite her, genug Gründe vor, die eine prinzipielle Abweichung von einem in diesem Sinne gedeuteten Kausalitätsprinzip, wenigstens im Mikrokosmos, wahrscheinlich machen.

Berlin-Steglitz, den 6. Oktober 1922.

W. Schottky.

<sup>1)</sup> W. Schottky, Das Kausalproblem der Quantentheorie als eine Grundfrage der modernen Naturforschung überhaupt, diese Zeitschr. 9, 1921, S. 492 u. 506.

<sup>2)</sup> W. Nernst, Zum Gültigkeitsbereich der Naturgesetze, Berliner Rektoratsrede 1921, diese Zeitschr. 10, 1922, S. 489.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von

**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 46. (Seite 983—998.)

17. November 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Enzyme als Kolloide. Von *W. M. Bayliss, London*. S. 983.

Der Vogelflug als anatomisch-physiologisches Problem. Von *Franz Groebbel, Hamburg*. S. 988.

Die Vorhersage der Reisernte in Nord-Japan. Von *K. Knoch, Berlin*. S. 993.

### Besprechungen:

Willis, J. C., Age und Area. Von *R. Goldschmidt, Berlin-Dahlem*. S. 995.

### Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Bemerkungen zu Preys Kritik über Hörbigers Welteislehre. Von *G. Kemmann, Berlin*. S. 995.

Erwiderung. Von *A. Prey, Prag*. S. 996.

Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde. Von *W. Fraenkel, Frankfurt a. M.* S. 997

# GOERZ DOGMAR

1:5.5 1:4.5 1:6.3

**DAS IDEALE OBJEKTIV  
FÜR AMATEUR-UND  
BERUFSPHOTOGRAPHEN**



Optische Anfertigung C.P. GOERZ Aktien-Gesellschaft  
Berlin-Friedenau 45

Sonderdruck sachen kostenfrei

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**  
Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagsbuchhandlung zum Preise von M. 250.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 25.—.

Sollte die im Druck- und Papiergewerbe auch weiterhin fortschreitende Teuerung, deren Ende heute noch nicht abzusehen ist, eine abermalige Erhöhung des Bezugspreises innerhalb des 4. Quartals 1922 notwendig machen, so muß sich der Verlag schon heute eine entsprechende Nachberechnung vorbehalten.

**Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 86.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.**

Bei jährlich 

|   |    |    |                         |
|---|----|----|-------------------------|
| 6 | 13 | 26 | 52 maliger Wiederholung |
| 5 | 10 | 20 | 80% Nachlaß.            |

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24**  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Pestscheck: für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20100 Julius Springer.  
Konten für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

## Voigt & Hochgesang Göttingen

**Fabrik f. Dünnschliffe,  
Kristallpräparate von  
eigenem, sowie von  
geliefertem Material.** (260)

Schul- und Studiensammlungen von ersten Fachleuten der Wissenschaft zusammengestellt. Kataloge stehen kostenfrei zur Verfügung.

## Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

**J. D. Möller, Wedel in Holstein.**  
Gegründet 1864. (294)

**Verlag von Julius Springer in Berlin W 9**

## Der Flug der Tiere.

Von

**Dr. F. Zschokke,**

Professor der Zoologie an der Universität Basel.

(IV, 110 S.) 1919.

G. Z. 2,8

Die Grundzahl (G.Z.) entspricht dem ungefähren Vorkriegspreis und ergibt mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.

## Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

**zu kaufen gesucht.** Angebote unter  
Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

## VERLAG VON BEHREND & CO. IN BERLIN W 9

*Veröffentlichungen des Preussischen Meteorologischen Instituts*  
*Herausgegeben durch dessen Direktor*  
**G. HELLMANN**

## Beiträge zur Geschichte der Meteorologie.

Von **G. Hellmann.**

Zweiter Band. Mit 3 Tafeln und einer Tabelle. Größe 8<sup>0</sup> 1917. G. Z. 15.

Inhalt:

Entwicklungsgeschichte des meteorologischen Lehrbuches — Erster Teil. Die Meteorologie des Aristoteles — Zweiter Teil. Das meteorologische Lehrbuch seit 1500 — Die Witterungsangaben in den griechischen und lateinischen Kalendern — Die Wettervorhersage im ausgehenden Mittelalter (XII. bis XV. Jahrhundert) — Wetterpropheten des XIX. und XX. Jahrhunderts — Kleinere Beiträge

Dritter Band, 1922, 8<sup>0</sup>. Preis steht noch nicht fest.

Inhalt:

Entwicklungsgeschichte des klimatologischen Lehrbuches — Geschichte des hundertjährigen Kalenders — Die Entwicklung unserer Kenntnisse vom Nordlicht — Die Meteorologie in außerdeutschen Flugschriften und Flugblättern. — Zur Geschichte der meteorologischen Instrumente und Beobachtungen — Anhang. Verzeichnis meiner 1883—1922 veröffentlichten Arbeiten. — Zur Geschichte der Meteorologie und der Erdmagnetismus

Band I ist vergriffen.

Die Grundzahlen (G.Z.) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.



## Enzyme als Kolloide<sup>1)</sup>.

Von W. M. Bayliss, London.

Allgemein ist man sich jetzt darüber einig, daß die Aktivität eines Ferments in einer Lösung vergrößert wird, wenn seine Oberfläche zunimmt. Mit anderen Worten, das zugrunde liegende System ist ein heterogenes und dem Wesen nach ein Spezialfall dieser *heterogenen* Katalyse, die eine so große praktische Bedeutung erlangt hat. Die Hydrolyse der Fette und die Synthese von Ammoniak aus Wasserstoff und Stickstoff mag hier angeführt werden. Was auch immer der Mechanismus dieser Art von katalytischen Reaktionen sein mag, sicher ist er ganz andersartig als Vorgänge in *homogenen* Systemen und demzufolge konnten auch die Untersuchungen von Vorgängen der letzteren Art keine Klärung der Fermentwirkungen anbahnen.

Vielfach hat sich herausgestellt, daß Enzyme nachweisbare Wirkungen entfalten konnten, wenn sie als sichtbare feste Teilchen suspendiert waren in Flüssigkeiten, in welchen sie unlöslich waren, derart, daß nach Filtration mit gewöhnlichem Filtrierpapier das Filtrat sich als unwirksam herausstellte. Ich selbst habe bei Lipase, Emulsin, Invertase, Laktase, Urease, Peroxydase, Katalase und Papain solches Verhalten nachweisen können. Für Lipase hatten schon vorher *Dietz*, *Nicloux* und *Tanaka* das gleiche gezeigt sowie für das Emulsin *Bourquelot* und *Bridel*. Die Filtrate von Pepsin- und Trypsinlösungen in 80proz. Alkohol waren schwach aktiv; offenbar enthielten sie eine geringe Menge Ferment in kolloidaler Lösung. Besonders leicht kann dieses Phänomen am Beispiel der Urease gezeigt werden, wenn man sie in 80proz. Alkohol suspendiert, weil der Harnstoff in Alkohol leicht löslich ist.

Es ergibt sich daraus offenbar, daß die Wirkung der Enzyme um so stärker ist, je größer die zur Verfügung stehende Oberfläche der Enzymteilchen. In dem eben erwähnten Experiment stellt sich heraus, daß Ammoniumkarbonat um so rascher gebildet wird, je kleiner die Teilchen des unlöslichen Ureasepräparates. Dabei dürfen aber Oberflächeneigenschaften, durch welche Absorption bedingt wird, nicht ausgeschaltet werden. So ergibt sich ganz von selbst die nahe Verwandtschaft zum kolloidalen Zustand. Bei einer bestimmten Menge Ferment ist seine Oberfläche um so größer, je kleiner die Teilchen sind. Mit anderen Worten: Am besten nutzt man es

aus, wenn man es in eine kolloidale Lösung bringen kann. Nun könnte aber die Verteilung so weit getrieben sein, daß sich das Ferment in einer molekularen Lösung befindet. In diesem Falle fehlt eine definierte Phasengrenzfläche: Es muß immerhin möglich erscheinen, daß durch solche Überlegungen einzelne Fälle von Verlust der Aktivität zu erklären sind. Doch kann für diese Auffassung ein Beweis nicht erbracht werden.

In praxi sind die stärkst aktiven Fermentpräparate anscheinend immer Lösungen. Wie können wir nun feststellen, ob es sich hier um kolloidale Fermentlösungen handelt? Das Ultramikroskop beweist nichts, denn die fraglichen Lösungen enthalten immer andere Kolloide, hauptsächlich Eiweißkörper, manchmal auch Stärke oder Lipoide. Der beste Beweis für die kolloidale Natur der Enzyme ist ihre Unfähigkeit zur Diffusion durch kolloidale Membranen, wie etwa eine Kollodiumhaut oder Pergamentpapier. Ich erinnere jedoch daran, daß gelegentlich Substanzen, die wir unter anderen Umständen als Kolloide kennen, langsam durch solche Membranen diffundieren können, wenn ihre Teilchengröße gering genug ist. Solche Beobachtungen sind aber bei Fermenten selten. Interessant ist das Verhalten der Malzamyase, welche *Fränkel* und *Hamburg* in zwei verschiedene Fermente getrennt zu haben vermuteten: eins, welches Stärke verflüssigt, und ein anderes, zuckerbildendes. *Wohl* und *Glimm* zeigten, daß die diffundierenden Teilchen aktiver waren wegen ihrer größeren Dispersion und daß die Verflüssigung der Stärke das erste Stadium der Umwandlung in Zucker ist.

Ein weiterer Vorteil des kolloidalen Zustandes ist folgender: Da die Fermentteilchen im ganzen Volumen gleichmäßig dispergiert sind, spielen Diffusionserscheinungen eine sehr geringe Rolle. Die Moleküle des Substrates brauchen nur eine kurze Entfernung bis zur Oberfläche des Katalysators zurückzulegen. Daß es gelegentlich sich auch anders verhalten kann, geht aus den neuen Versuchen von *Collin* und *Schaudinn* mit Invertase hervor. Bei stärker konzentrierten Rohrzuckerlösungen kann die Viskosität die Diffusion so erschweren, daß der Effekt der Fermentwirkung vermindert erscheint. Bei Lösungen über 10 % geht die Verringerung der Wirkung mit der Zunahme der Viskosität Hand in Hand, während bei der Säurehydrolyse (hierbei handelt es sich um ein homogenes System) der Viskositätsfaktor ausscheidet.

Glycerin ist bekanntlich ein ausgezeichnetes Lösungs- und Extraktionsmittel für Fermente

<sup>1)</sup> Die Schriftleitung verdankt die Übersetzung aus dem Original Herrn Dr. van Eweyk, Berlin, Pathologisches Institut der Charité.

und zugleich ein wirksames Dispersionsmittel für Kolloide. Dieses Verhalten kann teilweise erklärt werden durch seinen schützenden Einfluß gegen Fällung oder Teilchenvergrößerung durch Salze sowie durch seine Viskosität, die den Eintritt von Zersetzungen hinausschiebt.

Wenn behauptet worden ist, daß die Enzyme kolloidal gelöst sind, so ist dies dahin zu verstehen, daß das komplexe System im ganzen kolloidal ist. Es soll hier nicht die Frage aufgeworfen werden, ob der wirklich aktive Anteil, wie etwa Eisen- oder Manganverbindungen bei den Peroxydasen, sich im kolloidalen Zustand befindet oder nicht. Der wirksame Faktor kann durch irgendein Kolloid der Lösung absorbiert sein: durch einen Eiweißkörper oder Gummi oder dergleichen.

Wir können dann die verschiedenen Möglichkeiten in Betracht ziehen, durch welche wir die Aktivität eines Fermentes auf dem Umweg über die Feinheit oder Grobheit seiner Verteilung, mit anderen Worten *die Größe seiner Oberfläche, ändern* können. Bei den Suspensionskolloiden, bei welchen ja die disperse Phase das Dispersionsmittel nicht nachweisbar enthält, kann man Fällungen am leichtesten durch Zufügen von Elektrolyten erzielen. Die Fermente indessen scheinen zu den Emulsionskolloiden zu gehören. Hierbei enthält die disperse Phase eine gewisse Menge des flüssigen Anteils der anderen Phase, gewöhnlich Wasser. Man hat also hierbei einen weniger schroffen Wechsel der Eigenschaften an der Grenzfläche: Oberflächenspannung, elektrische Ladung usw. sind weniger ausgesprochen, und die Empfindlichkeit Elektrolyten gegenüber ist geringer als bei den Suspensionskolloiden. Im Anschluß hieran möchte der Verfasser vorschlagen, nur solche Körper Emulsionskolloide zu nennen. Wenn die disperse Phase flüssig ist, aber keine in Betracht kommenden Mengen des flüssigen Anteils der dispergierenden Phase enthält, z. B. eine Suspension von Petroleum in Wasser, sind die Eigenschaften des Systems dem eines Suspensionskolloides ähnliche.

Regelmäßig werden Emulsionskolloide nur durch mehrwertige Ionen gefällt, wie etwa Lanthan-Ion oder Ferrocyano-Ion, je nach dem Vorzeichen der elektrischen Ladung. Aber die Elektrolytempfindlichkeit ist auch eine Frage der Menge. Man hat gesehen, daß manchmal sogar Kaliumchlorid bei einer Emulsion von Olivenöl teilchenvergrößernd wirkt, doch mag es sich hierbei nicht um ein wirklich emulsoides System gehandelt haben. Auf Grund dieser Überlegungen sollte man annehmen, daß Neutralsalze im allgemeinen die Fermentwirkungen hemmen sollten wegen der durch sie bedingten Oberflächenverkleinerung, indessen haben aber meistens ein- und zweiwertige Ionen in schwacher Konzentration einen fördernden Einfluß. Vielleicht ist diese Erscheinung in einigen Fällen dadurch bedingt, daß der flockende Effekt durch eine Er-

leichterung der Adsorption des Substrates mehr als kompensiert ist. Wie diese Erleichterung zustande kommt, soll weiter unten ausgeführt werden. Andererseits fällt Lanthan in 0,005-molarer Konzentration Urease und bewirkt Flockung in 0,00083-molarer Lösung. Im letzteren Fall wird die Fermentwirkung auf die Hälfte reduziert. Takadoro hat gezeigt, daß Calcium die Takadiastase flocken kann.

Ihnen gegenüber stehen Substanzen, die die *Oberflächenspannung* erniedrigen. Sie steigern die *Dispersion*, indem sie die Neigung zur spontanen Flockung vermindern. Caprylalkohol vermehrt die Ureasewirkung. Am bekanntesten ist das Beispiel der Wirkung gallensaurer Salze auf Lipase. Die Leberlipase ist ohne sie unwirksam (*Magnus*). Eine Erklärung für die Inaktivität der dialysierten Amylase des Speichels, der Leber, des Pankreas und des Malzes erscheint rätselhaft. Diese Fermente scheinen in gewisser Beziehung zu der kolloidalen Natur ihres Substrates zu stehen, denn nach *Starkenstein* gibt es keine gegenseitige Absorption zwischen löslicher Stärke und Amylase im Sinne einer Niederschlagbildung. Vielleicht hat die elektrische Ladung der Stärke- und der Enzymteilchen dasselbe Vorzeichen, und es muß erst Absättigung durch entgegengesetzt geladene Ionen erfolgen, bevor der zur Wirkung notwendige Kontakt eintreten kann.

Fermente sind sehr empfindlich Wasserstoff- und Hydroxylionen gegenüber. Für jedes Ferment gibt es eine besondere optimale Wasserstoffionenkonzentration. Wie diese Wirkung zustande kommt, wird zurzeit lebhaft erörtert. Vielleicht ist die Dispersion bei der optimalen Reaktion maximal. Ein Ferment könnte bei einer Reaktion, die sich zu weit von der optimalen entfernt, in ionisierter Form vorhanden sein, so daß eine wirksame Oberfläche nicht mehr existiert. Andererseits darf man, falls bei einem Fermentsystem ein amphoterer Elektrolyt, z. B. Eiweiß, beteiligt ist, die Salzbildung mit Säuren oder Basen oberhalb oder unterhalb des sogenannten isoelektrischen Punktes nicht außer acht lassen. Doch erscheint es nicht wahrscheinlich, daß die Fermente den Eiweißkörpern nahe stehen.

Den Wärmeeffekt kann man vorteilhaft im Zusammenhang mit der Frage der Dispersion erörtern. Der hohe Temperaturkoeffizient der Fermentwirkungen ist ein auffälliges Charakteristikum. Er ist besonders ausgesprochen bei niedrigeren Temperaturen; so beträgt er bei Trypsin zwischen 20 und 30° 5,3. Für Emulsin gibt *Tammann* zwischen 60 und 70° 7,14 an. Nach der bekannten Regel von *van't Hoff* nimmt ganz allgemein die Geschwindigkeit einer chemischen Umsetzung bei einer Temperatursteigerung um 10° um das Zwei- oder Dreifache zu. Es muß also bei den Enzymreaktionen offenbar etwas Besonderes vorliegen, und wahrscheinlich erklärt die vermehrte Dispersion, die mit Erhöhung der Temperatur Hand in Hand geht, derartige Abweichungen. Die Wirkung der ver-



mehrten Dispersion addiert sich zu der Beschleunigung der chemischen Reaktion, die an der Oberfläche der kolloidalen Enzymteile vor sich geht. Von den beiden anderen Faktoren, die bei Reaktionen in heterogenen Systemen eine Rolle spielen, hat die Diffusion, wenn sie überhaupt nachweisbar in Erscheinung tritt, einen geringen Einfluß und die Adsorption hat eine unbeträchtliche Verzögerung zur Folge. Ultramikroskopische Beobachtungen haben festgestellt, daß die Dispersion des Trypsins durch Erhitzen auf 42° zunimmt und daß in Übereinstimmung damit die Aktivität dieser Lösung bei der Untersuchung bei einer niedrigeren Temperatur sich als vermehrt erwies. Doch müssen, um ein endgültiges Urteil abgeben zu können, die Ergebnisse weiterer Forschungen abgewartet werden.

Oberhalb einer bestimmten Temperatur, die man manchmal als optimale bezeichnet, wird dem befördernden Einfluß mehr und mehr entgegengearbeitet durch nachteilige Einflüsse, die durch Aggregation oder Gerinnung bedingt sind und schließlich zur Inaktivierung führen. Der Begriff der optimalen Temperatur ist kein scharfer; er bezeichnet lediglich die Temperatur, bei welcher zu Gerinnung führende Vorgänge die beschleunigenden zu überwiegen beginnen. Zum mindesten kann bei einigen Fermenten die Inaktivierung durch Hitze als Folge einer Teilchenvergrößerung, aber nicht einer Zerstörung angesehen werden. So hat man z. B. gefunden, daß Speichel, nachdem er durch Erhitzen inaktiviert worden war, seine fermentative Kraft wiedererlangt, wenn man ihn kräftig mit Luft schüttelt. Auch spontane langsame Erholung ist beschrieben worden. Die permanente irreversible Inaktivierung steht vielleicht in einer gewissen Beziehung zu der zweiten der beiden Arten von Teilchenvergrößerung nach der Beschreibung von *Chick* und *Martin*. Wenn bei geronnenem Eiereiweiß die Teilchen einander nur an einzelnen Punkten berühren, können sie leicht durch Zusatz von Elektrolyten wieder dispergiert werden. Wenn sie dagegen verklumpen, einzelne große Koagula bilden, so versagen die gewöhnlichen Methoden, wenn es sich darum handelt, den ursprünglichen Zustand wieder herzustellen. In einer ähnlichen Weise kann vielleicht die Wirkung bestimmter Reagenzien zur Fällung von Fermenten aus Zellextrakten erklärt werden. Wenn man mit Alkohol fällt und den Niederschlag längere Zeit der Einwirkung des Fällungsmittels aussetzt, geht die Aktivität des Fermentes zu einem großen Teil verloren. Fällt man einen Eiweißkörper durch ein Salz, so kann man ihn nur bei raschem Arbeiten wieder in Lösung bringen, sonst wird der Niederschlag „unlöslich“, mit anderen Worten: er geht nicht mehr in den dispersen Zustand über. Ich habe bei der Herstellung von Fermentpräparaten die Erfahrung gemacht, daß Aceton einen weniger schädlichen Einfluß als Alkohol auf die Aktivität hat. Sind fällbare Eiweißkörper in einer Fermentlösung, so

erhebt sich die Frage, ob bei einer Fällung das Ferment nicht bloß mittels Adsorption in den Niederschlag übergeht. So wird das Fibrin-ferment wieder freigemacht, wenn man den Niederschlag mit Natriumhydroxyd behandelt. Ich fand, daß der Schutz der Invertase durch Rohrzucker Hand in Hand ging mit fehlender Eiweißgerinnung. Wenn man Trypsin an Kohle adsorbiert, ist das Ferment weniger hitzeempfindlich; vielleicht deshalb, weil die an Kohle gebundenen Fermentteilchen sich nicht miteinander vereinigen können. Die gewöhnliche Erscheinung, daß Fermente durch ihr Substrat oder dessen Spaltprodukte geschützt werden, mag zum Teil darauf zurückgeführt werden, daß das adsorbierte Material den Aggregationsvorgang, wie er sonst durch die Hitzeeinwirkung ablaufen müßte, hintanhält.

Nachdem die Ergebnisse der tatsächlichen Änderung der wirksamen Oberfläche selbst betrachtet sind, wollen wir uns nunmehr den Einflüssen zuwenden, welche nicht durch Änderungen der korpuskulären Dimensionen, sondern durch Beförderung oder Verhinderung der *Adsorption des Substrates an die wirksame Oberfläche*, die bei der weiteren Betrachtung als konstant angenommen werden mag, bedingt sind. Wenn wir von der Annahme ausgehen, daß die Größe einer katalytischen Umsetzung der jeweils an das Ferment adsorbierten Substratmenge proportional ist, so ergibt sich ohne weiteres, daß, wenn die Oberfläche durch irgendeine andere Substanz zum Teil mit Beschlag belegt ist, nur ein geringerer Teil des eigentlichen Substrates mit derselben in Berührung sein kann. Diesen Gesichtspunkt hat *Meyerhof* hervorgehoben. Er fand nämlich, daß die höheren Homologen des Alkohols und Uretans, die ja bekanntlich fermentative Umsetzungen verzögern, dies in demselben Maße tun, wie sie die Oberflächenspannung erniedrigen, d. h. proportional ihrer Adsorbierbarkeit. Ich zeigte, daß Saponin den Harnstoff von der Oberfläche der Tierkohle verdrängt und ebenfalls die Geschwindigkeit der Hydrolyse des Harnstoffes mittels Urease verzögert. Hierbei ist besonders bemerkenswert, daß die verzögernde Wirkung des Saponins bei niederen Temperaturen stärker hervortritt als bei höheren, eine Erscheinung, die sich aus dem negativen Temperaturkoeffizienten der Adsorption ergibt.

Es ist hier nicht der Ort, das Wesen der Adsorptionskräfte zu erörtern. Ich möchte nur daran erinnern, daß neuere Arbeiten über Kristallstrukturen es mehr als wahrscheinlich machen, daß bei Dimensionen von der Größenordnung der Atome und Moleküle elektrische, chemische und Kohäsionskräfte nicht voneinander unterschieden werden können. Bei einer solchen Betrachtungsweise verschwindet allmählich ein großer Teil der Schwierigkeiten, die sich aus der besonders strengen Spezifität der Fermente ergaben. Immerhin harren aber noch viele

rätselhafte Tatsachen der Erklärung. Darüber hinaus verliert auch der Streit zwischen physikalischen und chemischen Theorien über die Adsorption viel von seiner Bedeutung. Doch lassen die stöchiometrischen Beziehungen der klassischen Chemie sich nicht auf Adsorptionsvorgänge anwenden. Charakteristisch für diese letzteren Vorgänge ist, daß die Mengenverhältnisse kontinuierlich variiert werden können. Von der Theorie der Adsorption, wie sie *Langmuir* lehrt, behauptet man von gewisser Seite, sie basiere auf rein chemischen Begriffen; allerdings muß dann der Sinn des Wortes „chemisch“ abweichend von der gewöhnlichen Bedeutung modifiziert werden.

Wie dem auch sei, es ist nicht erwiesen, daß echte *chemische Verbindungen* zwischen Ferment und Substrat zustande kommen. Man hat zwar bestimmte *adsorptive Verbindungen* dargestellt, z. B. Kasein mit Trypsin, aber eine ähnliche Verbindung existiert zwischen Kasein und Amylase so gut wie zwischen Amylase und Stärke. Die Schwierigkeit besteht in den meisten Fällen darin, die Adsorptionsverbindung derart zu isolieren, daß ihr Bestehen aus Ferment und adsorbiertem Substrat nachgewiesen werden kann. Einen bemerkenswerten Versuch verdanken wir *Starkenstein*. Wie schon erwähnt, verliert die Leberamylase ihre Aktivität, wenn man sie durch Dialyse von Salzen befreit. Fügt man zu einer solchen Lösung Stärke, so erfolgt eine Fällung, die aus einer Adsorptionsverbindung besteht. Diese setzt sich zusammen aus Ferment und Substrat, wie in folgender Weise gezeigt werden kann: Suspendiert man die Verbindung in Wasser, so erfolgt keine Hydrolyse; erst nach dem Zusatz von Natriumchlorid wird reichlich Zucker gebildet. Es mag noch angeführt werden, daß bei all den oben erwähnten Beispielen das Substrat aus relativ großen Partikeln besteht. Befindet es sich in echt gelöstem Zustande oder ist es auch nur hoch dispers kolloidal, so ist die entstehende Adsorptionsverbindung ähnlich hoch dispers und kann infolgedessen nicht so leicht als solche abgetrennt werden. Die Methoden der Ultrafiltration dürften bei der Erforschung der Verbindungen von Fermenten mit in echter Lösung befindlichen Substraten aussichtsreich sein. Besteht das Substrat aus elektrisch geladenen kolloidalen Teilchen (z. B. Stärke) oder aus Ionen (Eiweißkörper in saurer oder alkalischer Lösung), so erfolgt auf Zusatz von Neutralsalzen eine interessante Erscheinung, die durch die Entladung der gleichsinnig geladenen kolloidalen Oberflächen bedingt ist. Dergleichen beobachtete man besonders beim Färben von Papier mittels Farbbeizen. Diese Erscheinungen sind bekannt unter dem Namen der elektrischen Adsorption. *Kanitz* und *Pottevin* haben gezeigt, daß Anwesenheit von Calciumionen die Wirksamkeit von Trypsin und Lipase steigert. Trypsin sowohl wie Eiweiß sind in alkalischer Lösung negativ ge-

laden, das Eiweiß tritt dabei als Anion auf. Negative Ionen werden von Filtrierpapier bei Anwesenheit irgendeines Kations viel leichter adsorbiert, denn dieses vermindert oder kehrt die negative Ladung an der Oberfläche der Papierpartikeln um. Man kann somit, ohne den Tatsachen Gewalt anzutun, annehmen, daß bei negativ geladenen Fermenten, etwa dem Trypsin, ähnliche Einflüsse möglich werden. Die Fermente adsorbieren, wie man sich stets vergegenwärtigen muß, nicht allein Substrat und Wasser (nach *Lewis* „Reactanten“), sondern auch noch die Reaktionsprodukte „Resultanten“. Schließlich hat *Bancroft* darauf hingewiesen, daß möglicherweise diese letzteren stärker adsorbiert werden und so einen unverhältnismäßigen Teil der wirksamen Oberfläche blockieren könnten. Ein solcher Vorgang würde die Wirksamkeit des Fermentes vermindern. Es ist ja auch ganz bekannt, daß bei Fermentreaktionen die Umsatzgeschwindigkeit stärker abnimmt, als man nach dem Massenwirkungsgesetz annehmen sollte.

Diese Verzögerung ist auch gewöhnlich viel beträchtlicher, als sich aus der Annahme einer fermentativen Synthese ergeben könnte. Dann kann ferner auch noch durch das Auftreten saurer oder basischer Spaltprodukte die Wasserstoffionenkonzentration des Systems und damit eine sehr wesentliche Reaktionsbedingung geändert werden.

Die Tatsache, daß eine Oberfläche von einer bestimmten Ausdehnung nur eine bestimmte Menge einer besonderen Substanz adsorbieren, d. h. daß sie sich mit dieser Substanz sättigen kann, erklärt in einfacher Weise ein gewöhnliches Ergebnis bei Fermentversuchen: Läßt man die Konzentration des Substrates zunehmen, so vergrößert sich erfahrungsgemäß auch die Reaktionsgeschwindigkeit, wenn auch nicht streng proportional dem Konzentrationszuwachs. Steigert man aber die Konzentration des Substrates weiter, so erfolgt gewöhnlich bei einem Substratgehalt von 5–10 % zunächst keine weitere Zunahme der Reaktionsgeschwindigkeit, die bei fortgesetzter Steigerung der Substratmenge dann allmählich sinkt. Aus den Anschauungen von *Langmuir*, welcher die Adsorption durch Ablagerung von Substratpartikeln an freie Valenzen der Oberfläche erklärt, kann ohne weiteres gefolgert werden, daß eine Oberfläche abgesättigt ist, wenn eine Schicht von der Dicke eines Moleküls sich auf ihr befindet. Was auch das Wesen der in Betracht kommenden Kräfte sein mag, ihre Größenordnung kann nicht derart sein, daß ihre Wirkung über die Strecke von 2 oder 3 Moleküldurchmessern bemerkbar wird. Die sekundäre Verzögerung ist manchmal, wie wir sahen, eine Folge der Viskosität, und es ist ferner nicht ausgeschlossen, daß das Wasser in solchen Lösungen schlechter adsorbiert wird; so hätten wir dann eine wirkliche Abnahme der Konzentration eines der „Reaktanten“ an der Oberfläche.



Nach *Northrop* läßt Trypsin keine Zeichen einer Oberflächenabsättigung erkennen, und ebensowenig findet man, daß irgendeine Verbindung mit dem Substrat zustande kommt. Wenn man den Vorgang durch Bestimmung des unhydrolysierten Anteils verfolgt, so soll sich herausstellen, daß stets die Reaktionsgeschwindigkeit mit der Konzentration zunimmt. Und weiter: Wenn eine Mischung zweier Eiweißkörper dem Ferment ausgesetzt war, so ergab sich der Umfang der gesamten als die Summe der beiden partiellen Hydrolysen; dies könnte nicht der Fall sein, wenn das eine Protein das andere von der Oberfläche fernhalten könnte. Was diesen letzten Punkt anlangt, so könnte doch immerhin eine Eiweißschicht die Fähigkeit haben, ein anderes Eiweiß zu adsorbieren, doch haben wir hierfür keinen direkten Beweis. Wie dem auch sei, *Northrops* Befunde stimmen nicht mit den übrigen Erfahrungen überein, sie müßten anderweitig bestätigt werden. Vielleicht haben wir es beim Trypsin mit ganz besonderen Verhältnissen zu tun: der hydrolytische Vorgang ist ein komplexer, er beginnt bei Kolloiden und endet nach der intermediären Bildung sehr verschiedenartiger Spaltprodukte bei den einfachen Aminosäuren. Das Ferment scheint kaum geeignet zur Entdeckung allgemeiner Gesetze zu sein.

Es wird also offenbar, daß sehr verschiedenartige Faktoren enzymatische Vorgänge nach allen Richtungen hin beeinflussen können. Unter diesen Umständen scheint es fast unmöglich, eine befriedigende mathematische Formulierung hierfür zu finden. Die von *Onodera* gefundene Wirkung von Äthyl-, Amyl- und Caprylalkohol ist in diesem Zusammenhang von Interesse. Amylalkohol verzögert die Ureasewirkung, Caprylalkohol beschleunigt sie, Äthylalkohol hemmt in höheren Konzentrationen und fördert in niedrigeren. Auf Grund der bis jetzt erörterten Eigenschaften heterogener Systeme läßt sich dieses Ergebnis gut deuten. Caprylalkohol erniedrigt die Oberflächenspannung sehr stark, infolgedessen erhöht er die Dispersität des Ferments. Er ist aber sehr wenig löslich, und deswegen adsorbiert die Fermentoberfläche zu wenig, als daß er wie *Saponin* substratverdrängend wirken könnte. Der Amylalkohol dagegen ist hinreichend löslich, er verdrängt infolgedessen das Substrat von der Oberfläche, und diese Wirkung überwiegt den Erfolg der Erniedrigung der Oberflächenspannung. Äthylalkohol wirkt bei schwachen Konzentrationen in dem letzteren Sinn; in stärkeren Konzentrationen fällt oder vergrößert er die Teilchen mehr, als er die Oberflächenspannung erniedrigt. Die andern Alkohole sind zu schwer löslich, um fallen zu können.

Die vorstehende Erörterung führt auf das schwierige Problem, wie das Wesen der Katalyse in heterogenen Systemen aufzufassen ist. Wie kommt es, daß eine Konzentrationserhöhung der

„Reaktanten“ den Umsatz derart vermehrt? Man hat angenommen, daß die erhöhte Substratkonzentration auf Grund des Massenwirkungsgesetzes diese Erscheinung bedingt. Aber das Massenwirkungsgesetz dürfte hier kaum herangezogen werden. Seine Anwendung würde voraussetzen, daß frei bewegliche Moleküle einander begegnen und in Reaktion treten, während bei unseren Reaktionen die Moleküle adsorbiert und somit fixiert sind. Es mag immerhin möglich sein, daß eine Beschleunigung deshalb eintritt, weil das Massenwirkungsgesetz eine erhöhte Anreicherung in den Schichten nahe der wirksamen Oberfläche fordert, doch erscheint eine solche Ansicht nicht sehr plausibel. Nach der Meinung von *Langmuir* wird die Anordnung der „reaktanten“ Moleküle durch die jeweiligen Affinitäten zu der wirksamen Oberfläche und zum Lösungsmittel derart bedingt, daß die Komplexe, welche miteinander in Beziehung treten, sich innig berühren. *Van Kruyt* hat auch ein Experiment beschrieben, bei welchem die Adsorption die Reaktionsgeschwindigkeit verzögert hat, da die Moleküle in eine zur Reaktion ungünstige Stellung gelangten. Nimmt man *Langmuirs* Theorie an, so bleibt kein Raum für Hypothesen über intermediäre Ferment-Substrat-Verbindungen und auch nicht für das allgemeine Massenwirkungsgesetz. Wahrscheinlich trifft auch diese Ansicht zu.

Doch auch diese Theorie ist kaum imstande, die enorme Zunahme der Reaktionsgeschwindigkeit zu erklären, mit der man so oft zu tun hat. Man darf das Dazwischentreten der sehr großen Molekularkräfte an den Oberflächen nicht vernachlässigen. *Faraday* hat schon 1834 eine Untersuchungsreihe von grundlegender Bedeutung über die Katalyse in heterogenen Systemen angestellt, und zwar beschäftigte er sich mit der Verbindung von Wasserstoff mit Sauerstoff an Platin- und anderen Oberflächen. Er zeigte, daß intermediäre chemische Verbindungen, wie z. B. instabile Oxyde des Platins, wie man angenommen hatte, nicht vorkommen, daß die Oberfläche sauber sein muß und daß die Reaktion auch vor sich geht, wenn andere als Platinoberflächen verwendet werden. Seine Ansicht war, daß die Verdichtung an einer Oberfläche die Gasmoleküle einander derart nähert, daß die chemische Verbindung vor sich gehen kann. Wenn man sich die Größenordnung der Drucke in Oberflächenschichten vergegenwärtigt — bei der Tierkohle beträgt er nach *A. M. Williams* bis zu einigen Zehntausend Atmosphären —, braucht man sich nicht zu wundern, wenn unter solchen Bedingungen chemische Reaktionen wesentlich rascher verlaufen. Möglicherweise wird das chemische Potential selbst gesteigert und demzufolge auch die Affinität der „Reaktanten“. Daß ungewöhnlich große Kräfte im ersten Moment der Adsorption in Erscheinung treten, lehrt die interessante Beobachtung *Ambersons* aus *Newton Harveys*

Laboratorium. Wenn man das Luziferin von Cypridina zum Leuchten bringt, indem man das Ferment Luziferase darauf einwirken läßt, so wird dieses Licht nach Ablauf der ersten Sekunde schwächer, und der Grad dieser Abschwächung folgt dem Gesetz für unimolekulare Reaktionen, aber, und das ist die Hauptsache, im ersten Augenblick erfolgt eine glänzende Lichterscheinung, die viel zu hell ist, als dem erwähnten Gesetze entspricht. Es liegt nahe, anzunehmen, daß dieser Blitz so zustande kommt, daß im Beginn der Reaktion die Adsorption auf der „reinen“ Oberfläche des Katalysators besonders intensiv ist. Wir haben so ein Beispiel, daß organische katalytische Reaktionen wenigstens für kurze Zeit äußerst rasch ablaufen können.

Im Hinblick auf die Adsorption aller an der Reaktion beteiligten Körper an der Enzymoberfläche, deren Vorhandensein man ja annehmen muß, erhebt sich ein bemerkenswertes Problem, auf welches ich von Herrn Professor Hopkins in Cambridge aufmerksam gemacht wurde. Wenn wir bedenken, daß die Vorgänge an der Oberfläche eines Fermentes eine rasche Einstellung des natürlichen Gleichgewichtes zwischen den Komponenten des Systems bedeuten, so folgt, daß, wenn nicht gerade diese verschiedenen Substanzen in demselben Verhältnis, in welchem sie sich in der flüssigen Phase befinden, adsorbiert sind, die Lage des Gleichgewichtes am Enzym anders sein muß als in der wäßrigen Lösung. Wie würde sich also schließlich das Gleichgewicht des ganzen Systems einstellen? Nun ist aber unter den Bedingungen, bei denen wir Fermentwirkungen in vitro untersuchen, die „Konzentration“ des Wassers so hoch oder der Umfang der fermentativen Synthese so gering (aus rein chemischen Gründen), daß das Gleichgewicht praktisch mit dem bei vollständiger Hydrolyse sich einstellenden übereinstimmt. Geringe Verschiebungen desselben müßten bei solchen Bedingungen verborgen bleiben. Es gibt aber gewisse Reaktionen, wie die Esterkatalyse der Lipase und die Emulsinwirkung auf Glykoside aus primären Alkoholen. Man kann diese Reaktionen mit so wenig Wasser vor sich gehen lassen, daß sich das Gleichgewicht in der Mitte zwischen den Extremen der Hydrolyse und der Synthese einstellt und leichte Verschiebungen desselben leicht gefunden werden können. Vor einigen Jahren hat Dietz einen bemerkenswerten Befund mitgeteilt: Setzt man Amylbutyrat der Lipasewirkung aus, so erreicht man schließlich ein Gleichgewicht, welches als ein echtes angesehen werden muß, bei dem mehr Spaltprodukte vorhanden sind, als bei einer Säureeinwirkung auftreten können. Dietz dachte an ganz unerforschte Quellen als Ursache für das Auftreten von Oberflächenenergien. Vielleicht ist die verschieden große Adsorption hierbei ausschlaggebend. Das Phänomen eröffnet, wie schon Dietz betont, offenbar eine Möglichkeit, den Konsequenzen

des zweiten Energiesatzes aus dem Wege zu gehen. Die van't Hoff'sche Isochore bedeutet, daß das Gleichgewicht einer Reaktion, bei deren Zustandekommen ein Energieumsatz vor sich geht, nur durch äußere positive oder negative Energieeinwirkung verschoben werden kann. Verschieden weit vorgeschrittene Esterhydrolysen unterscheiden sich energetisch derart wenig voneinander, daß anscheinend die bei der Adsorption auftretende Wärmemenge das Energiedefizit decken könnte. Auf alle Fälle ist das Problem von einigem theoretischen Interesse; der Verfasser hat Versuche im Gange, die eine Klärung dieser Frage anzubahnen geeignet sind.

## Der Vogelflug als anatomisch-physiologisches Problem.

Von Franz Groebbels, Hamburg.

Fliegen bedeutet ganz allgemein, sich gegen die Schwerkraft, die Anziehungskraft der Erde in der Luft zu halten und sich dabei in einer Richtung fortzubewegen, die nicht in die Fallrichtung fällt. Das erste Prinzip, das Schwebeprinzip, kann für Körper, die spezifisch schwerer sind als Luft, auf zweierlei Weise verwirklicht sein. Einmal durch eine möglichst weitgehende Verminderung des Gewichts im Verhältnis zum Volumen, zweitens durch das Gesetz des Fallschirms, ein Volumen mit möglichst großer Angriffsfläche zu schaffen und damit alles zugunsten der Reibung, des Auftriebes und zu ungunsten des Falltriebes zu verschieben. Betrachten wir den Vogelkörper, so können wir sagen, daß hier die Verwirklichung dieser Punkte, *Schwebefähigkeit* sowohl wie *Angriffsflächenvergrößerung*, auf verschiedene Weise gelöst ist.

Wir wissen, daß der Vogelkörper leicht ist und eine Anzahl mit Luft gefüllter Räume enthält. Die Federn, die Knochen enthalten Luft, der Körper besitzt Luftsäcke, die zwischen die Muskeln und unter die Haut reichen und mit hohlen Knochen in Verbindung stehen können. Diese Einrichtungen sind gerade bei den besten Fliegern besonders entwickelt. Damit ein solcher Körper aber nicht an Festigkeit verliert, dafür ist in bestimmter Weise Sorge getragen. Die Knochen der Vögel sind sehr salzreich, und die mit Luft gefüllten Räume Luftkissen vergleichbar, die die Stabilität erhöhen. Der zweite Punkt, die Vergrößerung der Angriffsfläche, die Erzeugung des Gegenwindes, ist gegeben durch die Federn und erfährt in den Angriffsflächen der Flügel und des Schwanzes eine durch Entfaltung und Spreizung stets variable und fein abzustufende Wirkung. Wenn wir von der Oberflächenvergrößerung reden, dürfen wir schließlich die Luftsäcke nicht vergessen. Ihr Volumen ist schon bei den schlechten Fliegern auf  $\frac{1}{3}$  des Körpervolumens berechnet worden. Wie schon Marey (1) beobachtete, erfolgt im Fluge bei jedem



Heben der Flügel ein inspiratorisches Einströmen der Luft in die Säcke, bei jedem Senken der Flügel ein expiratorisches Ausströmen. Beim Heben der Flügel werden die Säcke ausgedehnt, das Körpervolumen vermehrt, beim Senken der Flügel werden die Säcke zusammengedrückt, das Körpervolumen vermindert.

Schwebeprinzip und Fallschirmprinzip gehen nun in komplizierter Weise ineinander über, sobald es sich um dreidimensionale Körper handelt. Die Fläche wächst im Quadrat, die Masse im Kubus. Haben wir z. B. zwei Vögel vor uns, einen größeren und einen kleineren, so wächst die Fläche, das Auftriebsmoment für den größeren im Quadrat, die Masse aber im Kubus, d. h., die Gewichtszunahme des größeren Vogels ist relativ zum kleineren größer als die Flächenvergrößerung. Der größere Vogel wird also nicht dieselbe Flugfähigkeit besitzen wie der gleichgebaut kleinere. Um diesen Mangel auszugleichen, kann er nur eines tun. Er kann seine Fluggeschwindigkeit erhöhen; denn mit dem Quadrate der Geschwindigkeit wächst der Auftrieb. Anders ausgedrückt, *der kleinere Vogel erreicht das, was der größere erreichen soll, schon bei einer geringeren Fluggeschwindigkeit*, die ganze Fortbewegungsform des Fluges erfordert bei ihm weniger Arbeit. Sicher eine bedeutsame Einrichtung, wissen wir doch, daß der kleinere Vogel einen größeren Stoffwechsel hat als der größere, und daß dieser Stoffwechsel beim Fluge nicht unerheblich ansteigt.

Wir haben bis jetzt betrachtet, wie der Vogel darauf eingerichtet ist, sich gegen die Schwerkraft in der Luft zu halten. Fliegen bedeutet aber mehr. Es bedeutet, sich in der Luft fortzubewegen, und wir haben uns zu fragen, wie dieses weitere Moment, die *Fortbewegung*, beim Vogel in Erscheinung tritt. Wir können zwei Flugtypen unterscheiden, *Ruderflug* und *Segelflug*, und als besondere Flugbilder des weiteren *Gleitflug*, *Rüttelflug* und *Wellenflug* davon abgrenzen. In dem Moment, in dem ein Vogel sich von seiner Unterlage, sei es Erde, sei es Wasser, in die Luft erhebt, leistet er mit seinen Flügeln die äußerlich in Erscheinung tretende größte Arbeit, die wir überhaupt im Bilde des Fluges beobachten können. Er verschafft sich durch schnellere oder langsamere Bewegung der Flügel in einer Ebene, relativ zum Körper von hinten oben nach vorne unten, den nötigen Auftrieb. Der Niederschlag der Flügel erfolgt dabei langsamer als der Aufschlag. Da es darauf ankommt, den hebenden Gegenwind von unten möglichst zu verstärken, den nach unten drückenden Gegenwind von oben aber möglichst abzuschwächen, so sehen wir beim Niederschlag die Schwungfedern eng aneinander liegend, eine zusammenhängende Angriffsfläche bilden, beim Aufschlag aber etwas auseinanderweichen. Diesen Flugtypus der fortwährenden Flügelschläge, die

vom Vogel selber geleistet werden, sehen wir als *Schwirr- oder Ruderflug* bei den schlechteren Fliegern in Erscheinung treten. Es sind zumeist Vögel, deren Flügel kurz und relativ breit sind, und wenn wir in Erwägung ziehen, daß ein langer und schmaler Flügel infolge des stärkeren Gegenwindes, den er schafft, das Flugvermögen begünstigt, so verstehen wir, daß diese Vögel, ich nenne nur die Hühnervögel, im Fliegen bedeutend im Nachteil sind. Eine besondere Form des Ruderfluges ist das *Rütteln*; es besteht darin, daß der Vogel sich mit schnellen Flügelschlägen gegen den Wind in Balance hält, dabei relativ zur Erde an derselben Stelle verweilend.

Es gibt nun eine ganze Reihe Vögel, z. B. Würger, Spechte, Bachstelze, die Finkenarten, bei denen der Ruderflug eine besondere Gestalt gewinnt, die *Lanchester* (2) treffend als *Wellenflug* bezeichnete. Vergegenwärtigen wir uns, daß der Vogel bei jedem Flügelschlag nach unten durch den Auftrieb in seiner Flugbahn etwas gehoben wird, beim Aufschlag aber, falls es sich um Flug in horizontaler Richtung handelt, in seiner Flugbahn etwas nach unten sinkt, so haben wir eine Wellenbewegung vor uns, die bei langsamem Flügelschlage der Nichtschweber als Wellenflug imponiert. Den Übergang vom Ruderflug in die zweite Form des Vogelfluges, den Segelflug, bildet gewissermaßen der *Gleitflug*. Im Gleitflug gleitet der Vogel, ohne äußere Arbeit zu leisten, in schräger Bahn nach abwärts. Es kommt ein neues Moment in Erscheinung, die tragende Fähigkeit der Luft. *Rayleigh* (3) hat gezeigt, daß ein spezifisch schwererer Körper als Luft nur dann von der Luft getragen wird, wenn er entweder schräg nach unten gleitet oder von unten her Windströmung erhält oder aber ungleichförmige Windströmungen ausnützt.

Wir kommen damit zum Fluge der guten Flieger, zum *Segelflug*. Im Segelflug leistet der Vogel keine sichtbare eigene Arbeit, und die Theorien, welche von kleinen, nicht merkbaren Schwingungen der Flügel sprechen, entbehren sicher jeden biologischen und experimentellen Beweises. Die Arbeit leistet hier vielmehr der Wind, der den Vogel, nachdem er sich einmal den nötigen Antrieb gegeben hat, schweben läßt. Berechnungen haben ergeben, daß für den hierbei entstehenden Stirnwind lange, schmale, vorne aber dicke Flügel am günstigsten sind. Zum Problem des Segelfluges gehört noch der *Kreisflug*. Während der Kreisflug nach unten einfach aus der Resultante von Zentrifugalkraft und Auftrieb sich ergibt, bietet der Kreisflug nach oben nicht unerhebliche Erklärungsschwierigkeiten, Probleme, die heute noch nicht als gelöst betrachtet werden können.

Das wichtigste Problem bei jeder Fortbewegung des Vogels im Fluge ist die *Erhaltung des Gleichgewichts*, und wir haben uns daher der Frage zuzuwenden: Wie ist es dem Vogel mög-

lich, sich in jedem Momente seiner mannigfach wechselnden Flugbewegungen im Gleichgewicht zu halten?

Wir gehen hier am besten vom Zentralnervensystem aus, stellt es doch gleichsam den Regu-

typus, ventralliegender Mittelhirn, kurzen Flügeln, und gute Flieger mit kleiner Vorderhirnlänge, occipitotemporalem Vorderhirntypus, dorsalgerücktem Mittelhirn und langen Flügeln.

Ich bringe diese Befunde in einer Tabelle:

| Vogel                 | Körperlänge<br>in cm | Flügelänge<br>in cm | Vorderhirnlänge<br>in cm | Das Mittelhirn ist um %<br>hinter die kaudale Fläche des<br>Vorderhirns hinaufgerückt. |
|-----------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|--|
| Grünspecht .....      | 30—32*               | 18                  | 18,8                     | 0,3  |
| Sperber .....         | —                    | 20                  | 14                       | 0,8  |
| Amazonenpapagei ..... | 34—36                | 19                  | 29                       | 0,33   |
| Felsentaube .....     | —                    | 21                  | 16,5                     | 0,7  |
| Sumpfeule .....       | —                    | 28                  | 20                       | 0,7  |
| Reiherente .....      | 40—43                | 23                  | 23                       | 0,2  |
| Sperbereule .....     | —                    | 23                  | 19,25                    | 0,7  |
| Stummelmöve .....     | —                    | 30                  | 14                       | 0,5  |
| Schwarzspecht .....   | 50—52                | 18                  | 21                       | 0,3  |
| Nachtreiher .....     | —                    | 32                  | 19                       | 0,7  |

lator dar, der durch mannigfache Reflexe und Reflexkombinationen die Erhaltung des Gleichgewichtes bewerkstelligt. Hier treffen einmal die sensorischen Impulse von der Körperperipherie her zusammen, von hier aus laufen die Impulse zu den effektorischen Organen des Fluges, zu den Flügeln, dem Schwanz und dem Kopf. Betrachten wir die äußere Konfiguration des Vogelgehirns, so sehen wir, daß es zwei biologische Erscheinungen sind, welche auf seine Gestaltung bestimmend wirken, das Flugvermögen und der mit dem Fluge innig verknüpfte Gesichtssinn. Auf Grund von Untersuchungen an 65 Vogelgehirnen aller Ordnungen gelang es mir, bestimmte typische Erscheinungen in der äußeren Gestaltung des Gehirns auf das besonders hoch entwickelte Flug- bzw. Sehvermögen der betreffenden Arten zurückzuführen. Ich stellte für Gehirne gleicher Vorderhirnlänge fest, daß die größte Verhältniszahl Vorderhirnbreite : Vorderhirnlänge und das ausgeprägteste Heraufrücken des Mittelhirns hinter die kaudale Fläche des Vorderhirns sich immer bei den Vögeln feststellen läßt, die sich durch besonders entwickeltes Flugvermögen und hochentwickelte Gesichtssinncharaktere vor den anderen Arten auszeichnen. Ich fand diesen „occipitotemporalen“ Vogelhirntypus bei den Tagraubvögeln, den Eulen, den Tauben, den Möven und dem Mauersegler, den entgegengesetzten „frontalen“ Typus aber bei den schlecht fliegenden Hühnervögeln, den Spechten, den Papageien, den Entenvögeln, die als schwerfällige Flieger bekannt sind. Es ergaben sich Verhältnisse, wie sie den von Müllenhoff (5) aus anderen Gesichtspunkten heraus aufgestellten 6 Flugtypen entsprechen.

Besonders interessant ist aber: für Vögel gleicher Körperlänge ließen sich zwei Typen unterscheiden, nämlich schlechte Flieger mit großer Vorderhirnlänge, frontalem Vorderhirn-

Aus diesen Befunden dürften sich zwei wichtige Schlüsse ergeben. Einmal die physiologisch weiter unten begründete Tatsache, daß der Vogelgehirns, so sehen wir, daß es zwei biologische Erscheinung darstellt, die sich nicht in der Vorderhirnentwicklung geltend macht. Zweitens, daß die relativ mächtige Entwicklung der Flügelänge mit dem Flugvermögen in innigem Konnex steht und gewissen niedrigeren Zentren, insbesondere dem Mittelhirn, schon morphologisch ihr Gepräge aufdrückt.

Wenn wir von dem Einfluß der Flugcharaktere auf die Morphologie des Vogelgehirns sprechen, so liegt es nahe, nach dem Kleinhirn zu fragen. Untersuchungen von Shimazono (6) über die äußere Gestalt des Kleinhirns in ihren Beziehungen zur Biologie haben hier aber keinerlei irgendwie in die Augen springende Befunde ergeben. Vielleicht eine Tatsache, die uns zu der Vermutung berechtigt, daß dem Kleinhirn beim Vogelflug keine bestimmende Rolle zufällt.

Dem äußeren Relief der verschiedenen Vogelhirntypen entsprechen die Verschiedenheiten im inneren Aufbau.

Wenn wir wieder von den beiden Gesichtspunkten des Vogelfluges, der Fortbewegung im Fluge und der Erhaltung des Gleichgewichtes während desselben ausgehen, so können wir diese beiden Prinzipien hirnanatomisch und hirnphysiologisch an zwei große Fasersysteme gebunden betrachten. Einmal an das System der sensorisch-motorischen Reflexbahnen, das die Aufgabe hat, die von Haut, Muskeln und Gelenken ausgehenden Reize auf die Zentren des Gehirns zu übertragen und von hier aus auf dem Wege motorischer Nerven in den Bewegungseffekt der Muskeln und Gelenke umzusetzen. Daß dieser Apparat beim Fluge eine Rolle spielt, erhellt aus den Untersuchungen von Trendelenburg (7), der Tauben die hinteren



Wurzeln doppelseitig durchschnitten und dabei das Flugvermögen der Tiere aufgehoben fand. — Der zweite Apparat, der hier in Frage kommt, ist der Apparat des motorischen Haubenkernes, ein System von größter Bedeutung und durch die ganze Wirbeltierreihe hin verfolgbar. Auf dem Wege des dorsalen Längsbündels, einer bis zur Mittelhirnhaube reichenden Faserung, überträgt dieses System seine Impulse auf Muskeln und Gelenke. Die Impulse werden ihm von zwei Stellen zugeführt. Einmal vom Gleichgewichtssinnesorgan, dem Labyrinth, auf dem Wege des N. vestibularis, zweitens vom Kleinhirn aus. Und zwar können wir auf Grund zahlreicher Befunde sagen, daß dem Kleinhirn irgendein Einfluß auf die Spannung der Muskeln zukommt, ein Einfluß, den wir als *Statotonus* und *Mototonus* bezeichnen können.

Die wesentlichere Rolle aber bei unserem Problem fällt dem Labyrinth zu. Schon *Ewald* (8) hatte dies in seinen klassischen Untersuchungen über den Nervus octavus beobachtet. — In neues Licht gerückt ist die Rolle des Labyrinthes für die Lage- und Bewegungsreaktionen der Wirbeltiere erst durch die Arbeiten von *Magnus* und seinen Mitarbeitern (9). *Magnus* und seine Mitarbeiter, welche an Säugetieren arbeiteten, konnten die alten Anschauungen *Machs* (10) und *Breuers* (11), die die Bogengänge als Organ für die Reaktionen auf Progressivbewegungen, die Otolithensäcke als das Organ für die Reaktionen auf die Lage des Kopfes im Raume bezeichneten, bestätigen und wesentlich erweitern. So zeigten sie, daß für die Verzweigung des Vestibularis im Otolithensäcke das Maximum der Erregung besteht, wenn der Otolith an den Endausbreitungen des Nerven hängt, das Minimum, wenn er darauf drückt. Sie zeigen ferner, daß das Zentrum für diese Reaktionen nicht im Kleinhirn sitzt, sondern im verlängerten Mark und Mittelhirn, ein Befund, der freilich bei der innigen Verknüpfung beider Systeme faseranatomisch nicht als kategorisch gelten kann.

Wenn wir zum Vogelgehirn zurückkehrend uns fragen, welche Entwicklung der Apparat des motorischen Haubenkernes in seiner Gesamtheit hier erfährt, und welche Verbindungen er eingeht, so können wir folgendes sagen. Die Impulse, die das dorsale Längsbündel treffen, werden übertragen auf die Muskulatur des Halses, der Flügel und des Schwanzes. Der Effekt auf die Augen, wie er bei Säugetieren beschrieben wurde, dürfte sich beim Vogel in anderer Weise äußern. Wir wissen durch die schönen Untersuchungen *Bartels* (12), daß die meisten Vögel gar keiner und nur einige Arten einer ganz geringen Augenbewegung fähig sind. Der Vogel ersetzt diesen Mangel, soweit er nicht schon durch die Lage der Augen im Kopfe und das weite Gesichtsfeld ausgeglichen wird, durch ausgiebige biologisch mannigfache Bewegungen des Kopfes. Wir dürften nicht fehlgehen, wenn wir auch bezüglich

des motorischen Haubensystemes die *fehlenden Augenreaktionen durch Kopfreaktionen ersetzt* ansehen. Damit stimmt denn auch aufs schönste überein, daß, wie wir noch unten betrachten wollen, der Augennystagmus der Säuger bei Drehbewegungen durch einen *Kopfnystagmus* beim Vogel vertreten ist.

Auf einen wichtigen Befund möchte ich noch hinweisen. Im Anschluß an Untersuchungen von *Kappers* (13) konnte ich zeigen (4), daß wir im einzigen Ursprungsort (Kern) des XII. Gehirnnerven des Vogels das Zentrum für die Syrinxmuskulatur vor uns haben. Fassen wir die Verbindungen des dorsalen Längsbündels mit diesem Kerne ins Auge, so dürfen wir in ihr vielleicht den *anatomischen Ausdruck für den Singflug* sehen, d. h. für die biologisch mannigfachen Beziehungen zwischen Flug und Gesang, auf die ich schon in früheren Jahren hingewiesen habe (4). Bei einem System, das, wie das hier beschriebene, im Leben des Vogels eine so hervorragende Bedeutung gewinnt, fragen wir nach der Ontogenese und den artlichen Unterschieden in der Stärke der Entwicklung. So sei hier kurz erwähnt, daß ich beim Hühnchen bereits am 12. Bebrütungstage vor der Entwicklung aller anderen Systeme, mit Ausnahme der Augenerven, im dorsalen Längsbündel die ersten Fasern auftreten sah. Was die vergleichende Anatomie betrifft, so fand *Sinn* (14) das System des dorsalen Längsbündels bei den guten Fliegern Falke, Eule, Reiher stärker entwickelt als bei dem schwerfällig fliegenden Schwan und dem ganz auf seine Beine eingestellten amerikanischen Strauß. Die Verbindungen des Kleinhirns mit dem roten Kern der Haube, die wir ebenfalls zu den beim Fluge in Frage kommenden Fasersystemen rechnen dürften, seien hier kurz erwähnt. Es liegt nahe, daß bei einem so ausgesprochen auf sein Sehen eingestellten Tiere, wie es uns im Vogel entgegentritt, der nervöse Sehapparat, Mittelhirndach und Occipitalhirn, Beziehungen zu den Apparaten der Bewegung und Gleichgewichtserhaltung gewinnt. Wir werden sehen, daß es gewisse im Fluge auftretende Reflexe gibt, die vom Sehapparat aus beeinflusst werden.

Wenden wir uns nun der physiologischen Seite des Problems zu. Nachdem bereits *Trendelenburg* (7), *Kestner* (15), *Dittler und Garten* (16) einige Reflexe beschrieben hatten, die für den Vogelflug ganz neue Gesichtspunkte eröffneten, habe ich die Frage vom physiologischen Gesichtspunkt aus weiter verfolgt (4). Ich wählte zu meinen Untersuchungen einen typischen Ruderflieger, die Taube, und einen typischen Schwebvogel, die Möwe. In Verfolgung der so gewonnenen Ergebnisse habe ich dann die Verhältnisse an einigen anderen Vogelarten (Hauschwalbe, Tagraubvogel, Schleiereule, Mauersegler, Saatkrähe, Star, Haubenmeise) weiter verfolgt und hier besonders auf die zeitliche Entstehung der einzelnen Reaktionen geachtet. Fasse

ich meine Befunde als Ganzes zusammen, so ergab sich dreierlei:

1., daß das Problem des Vogelfluges ein *physiologisches Problem* darstellt, das wir nicht errechnen können; 2., daß der Vogel im Gegensatz zum Flugzeug nicht von dem auf ihn wirkenden Auftrieb abhängt, sondern *diesen Auftrieb selber zu bestimmen imstande ist*; 3., daß die beobachteten Reaktionen bei den verschiedenen Arten recht *verschieden* sind, und daß wir bestimmte Typen in diesem Sinne unterscheiden können.

Es hat sich gezeigt, daß für den Flug die Flügel, der Schwanz und der Kopf von Bedeutung sind, während die Beine nur beim Auf- und Abfliegen und Landen in Tätigkeit treten. Betrachten wir die für den Flug in Frage kommenden Kipp-, Progressiv- und Drehreaktionen, so ergibt sich im einzelnen folgendes:

Fassen wir eine Taube oder Möve an den Beinen und ahmen durch schnelles Heben oder Senken die allgemeine Bewegung nach oben bzw. unten nach, so werden bei der Taube die Flügel unter Flügelschlägen gespreizt, bei der Möve geraten sie in Schwebestellung. Der Vogel reagiert auf Bewegung nach oben oder unten also mit Vergrößerung seiner Luftangriffsfläche, und wir können dieser Reaktion die Bedeutung zuschreiben, den entstehenden Gegenwind zu verstärken, seine Tragfähigkeit gegenüber dem Vogelkörper zu erhöhen. Interessante Resultate ergeben die Versuche, bei denen das Tier an den Beinen gehalten und entweder um die Querachse nach vorn bzw. hinten oder um die Längsachse nach der Seite gekippt wird. Wir ahmen damit den Fall nach, wo das horizontal fliegende Tier durch irgend eine Windströmung aus seiner Gleichgewichtslage gebracht zu werden droht. Wir beobachten hier, daß der Vogel in aufs feinste abgestuften Reaktionen seine Angriffsflächen Flügel und Schwanz so zu vergrößern bzw. einzustellen imstande ist, daß durch den dabei entstehenden Gegenwind das Tier sofort wieder in horizontale Gleichgewichtslage zurückgelangt. Kippen wir den Vogel z. B. nach vorne, so spreizt er den Schwanz rückenwärts. Denken wir uns das Tier in horizontalem Fluge, so wird die Folge sein, daß der Stirnwind durch Anprall am Schwanz den Körper wieder in die Horizontallage aufrichtet, indem er den Schwanz nach unten drückt und damit den Vorderkörper des Tieres hebt. Kippen wir den Vogel nach hinten, so wird der Schwanz bauchwärts gedreht, und denken wir uns diese Stellung wieder beim fliegenden Tier, so wird der Effekt des Stirnwindes jetzt darin bestehen, den Körper durch Angriff an der ventralen Fläche des Schwanzes in die Horizontallage zurückzurichten, indem er den Hinterkörper des Tieres hebt. Genau dasselbe Prinzip, die Schaffung der Angriffsfläche je nach Bedarf, beobachten wir beim Kippen des Tieres nach der Seite. Hier vergrößert der Vogel

durch stärkere Ausbreitung des Flügels in der Kipprichtung, durch Drehung und einmaliges Spreizen des Schwanzes nach der Kippseite seine Angriffsfläche einseitig, was zur Folge hat, daß der hier entstehende stärkere Gegenwind das Tier in die horizontale Gleichgewichtslage zurückbringt. Beim Vergleich von Taube und Möve ergab sich, daß bei diesen Reaktionen die Taube hauptsächlich mit dem Schwanz, die Möve aber mit den Flügeln arbeitet. Bei der Möve und dem Mauersegler konnte ich feststellen, daß passives Senken und Ausbreiten des einen Flügels eine Anlegebewegung des anderen Flügels zur Folge hat, während beim passiven Heben des einen Flügels nach oben der andere Flügel mit einer Abhebewegung vom Körper reagiert. Eine besondere Bedeutung neben den Progressivbewegungen kommt den Reaktionen auf Drehbewegungen zu, wie sie biologisch im Fluge in Gestalt des Kurven- und Kreisfluges in Erscheinung treten. Auch diese Bewegungen sind durch gewisse Reaktionen im Vogel präformiert.

Wir haben gesehen, daß der fliegende Vogel imstande ist, durch Änderung der Angriffsflächen, die er der Luftströmung aussetzt, sich ganz reflexmäßig im Gleichgewicht zu halten, und zwar tritt hier immer das Prinzip in Erscheinung, durch Flugflächenvergrößerung den Gegenwind zu erhöhen, durch Flugflächenverkleinerung den Gegenwind zu schwächen. Wenn wir dieses Prinzip auf das Erheben zum Fluge einerseits, auf das Niedergehen nach dem Fluge andererseits übertragen, so ist ohne weiteres verständlich, daß der Vogel beim Erheben durch Verringerung der Angriffsflächen den Gegenwind abschwächen kann, beim Niedergehen aber wird eine Spreizung von Schwanz und Flügeln eine Bremsung bedeuten, ein Zusammenlegen der Flügel und des Schwanzes dagegen eine Beschleunigung der Fallrichtung nach unten. Ich habe bei meinen Untersuchungen eine Reihe von typischen Reflexen als *Landungsreaktion* bei allen beobachteten Arten abgrenzen können. Fassen wir eine Taube oder Möve an den über den Rücken geschlagenen Flügeln und bewegen das Tier schnell nach unten, so tritt zweierlei ein. Eine Spreizung und Drehung des Schwanzes nach oben, zweitens ein Vorstrecken und Spreizen der Beine. Wir können uns in der Natur leicht davon überzeugen, daß diese Bewegungen immer erfolgen, wenn ein Vogel nach dem Fluge niedergeht. Wir können dann beobachten, daß diese Reaktion erst kurz vor der Erreichung der Ruhefläche erfolgt. Daß die Hebung des Schwanzes hierbei eine Bremsung darstellt, vergegenwärtigt uns vielleicht am schönsten das Flugbild des niedergehenden Baumpiepers. Daß das Anlegen der Flügel an den Körper eine Erhöhung der Fallgeschwindigkeit bewirkt, sehen wir daraus, daß viele Vögel kurz vor Erreichen der Ruhefläche die Flügel an den Körper legen und dann wie ein Pfeil die Ruhefläche erreichen. Dieses



Prinzip, das die Verringerung der Angriffsflächen die Geschwindigkeit des Fluges steigert, ist auch beim Stoßflug mancher Tagraubvögel ausgeprägt.

Wenden wir uns zur Ontogenese der hier beschriebenen Reaktionen, so haben meine Untersuchungen an noch nicht flüggen Vögeln verschiedener Arten ergeben, daß das Auftreten der verschiedenen Bewegungsreflexe ein zeitlich verschiedenes ist. Bemerkenswert ist in dieser Hinsicht einmal, daß die Landungsreaktion bei allen beobachteten Arten bereits vorhanden ist, ehe das Tier flügge ist, ja, ehe es überhaupt aufrecht auf den Beinen sitzen kann. Ferner ist zu beobachten, daß beim jungen Vogel im Dunenkleid die Flügel noch ganz der Schwerkraft folgen, und daß mit der Entwicklung des Tieres dann die oben beschriebenen, mit Tonus verbundenen Flügelreflexe auftreten. Fragen wir uns, welche Beziehungen der hier beschriebenen Reaktionen zum Gehirn, zum Labyrinth und zum Auge bestehen, so konnte ich bis jetzt folgendes feststellen. Wenn man einer Taube das Vorderhirn entfernt, so dreht sie, auf den Rücken gelegt, von selber um und stellt sich auf die Beine. Bei einseitiger Entfernung des Labyrinthes beobachten wir den schon von *Ewald* (8) beschriebenen einseitigen Tonusverlust des Flügels auf Seiten der Läsion. Was den Einfluß der Augen betrifft, so fand ich, daß sowohl nach Entfernung des Vorderhirns, wenn das Tier, wie man sagt, seelenblind ist, als auch nach Verschuß der Augen die Landungsreaktion verstärkt wird. Es gibt einige Reaktionen des Schwanzes, die vom Sehapparat abhängen und die man deshalb als *optokinetische* bezeichnen kann.

Wenn wir das Kapitel der Gleichgewichtserhaltung im Fluge verlassen wollen, so ist nicht zu vergessen, daß vielleicht auch die Luftsäcke einen gewissen Einfluß auf das Gleichgewicht im Fluge gewinnen. Es ist in Erwägung zu ziehen, daß die Verlagerung der Eingeweide den Schwerpunkt des Körpers verschieben könnte.

#### Literatur.

1. *Marey*, Le vol des oiseaux, Paris 1890.
2. *Lanchester*, Aerial flight, London 1908.
3. *Rayleigh*, Nature Vol. 27, 1883.
4. *Groebbel*, Ornith. Monber. 7/8, 1909; Journ. f. Ornithol. 1910; Ztschr. f. Biol. 1920 u. 1922; Pflügers Archiv 187, 1921; Zool. Jahrbücher Bd. 43, 1922.
5. *Müllenhoff*, Pflügers Archiv 35, 1885.
6. *Shimazono*, Arch. f. mik. Anat. Bd. 80, 1912.
7. *Trendelenburg*, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1906 u. Suppl. 1906.
8. *Ewald*, Physiol. Untersuchungen über das Endorgan des N. octavus, Wiesbaden 1892.
9. *Magnus*, M. m. Wschr. 1919 Nr. 20, Pflügers Archiv 159, 1914; 163, 1916; 174, 1919; 178, 1920; *De Kleijn* und *Magnus*, Pflügers Archiv 186, 1921.
10. *Mach*, Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen, Leipzig 1875.
11. *Breuer*, Wien. med. Jahrb. 1874 u. 1875; Pflügers Archiv 44, 48, 68.
12. *Bartels*, Arch. f. Ophthalmologie 101, 1920.

13. *Kappers*, Psychiatrische en Neurologische Bladen, Nr. 4 u. 5, 1911.
14. *Sinn*, Monchr. f. Psych. u. Neurol. 1913, Bd. XXXIII.
15. *Kestner*, Deutsche Gesellschaft f. Luftfahrt 1914.
16. *Dittler u. Garten*, Ztschr. f. Biologie Bd. 68, 1918.

## Die Vorhersage der Reisernte in Nord-Japan.

*Ein Beispiel der Wechselbeziehungen zwischen der Witterung weit entfernter Erdteile.*

Die Bestrebungen, zwischen der Witterung weit entfernter Gegenden auf der Erde Zusammenhänge aufzudecken, tauchten in der wissenschaftlichen Meteorologie bereits frühzeitig auf. Die ersten Ansätze zu diesen Gedanken dürfen wir in den Arbeiten des deutschen Meteorologen *Brandes* suchen, der schon im Jahre 1820 zu solchen Untersuchungen von „gleichzeitigen Witterungsereignissen in weit voneinander entfernten Weltgegenden“ anregte. Seitdem ist die Frage bald mehr, bald weniger untersucht worden. Vor allem konnte man neuerdings seit ungefähr drei Dezennien, nachdem längere und bessere Beobachtungsreihen aus allen Erdteilen bekannt geworden waren, mit immer mehr Erfolg an die Frage herantreten, und es gelang, zahlreiche, teilweise ganz überraschende Tatsachen aufzufinden. Gleichzeitige oder auch in einem bestimmten Verhältnis zeitlich zueinander verschobene Witterungsabläufe zwischen recht weit entfernten Erdteilen wurden festgestellt, und es ist noch Sache weiterer Forschung, die ursächlichen Zusammenhänge, die in vielen Fällen recht verwickelt sein mögen, aufzudecken.

Die berührte Frage ist von sehr großer Wichtigkeit für die praktische Meteorologie, soweit sie als Wettervorhersage der Allgemeinheit dienen soll. Gelingt es den Meteorologen, den Schlüssel zu den Anomalien einer bestimmten Gegend in zeitlich vorangehenden Vorgängen einer anderen Stelle des Erdballs zu finden, so ist damit ein Weg gegeben, den Witterungsverlauf auf längere Zeit im voraus zu bestimmen. Dabei kann es sich nicht um Tagesprognosen handeln, sondern um Angabe des Witterungscharakters ganzer Monate, Jahreszeiten oder ähnlicher Zeiträume. Die Wichtigkeit solcher verlässlicher Prognosen liegt klar auf der Hand. Unsere Abhängigkeit von der Witterung ist im allgemeinen größer, als man für gewöhnlich zugibt. Die Kenntnis des Witterungscharakters kommender Zeiträume wird daher für viele Berufskreise von großem Nutzen sein.

Wie einschneidend und lebenswichtig, im wahrsten Sinne des Wortes, eine solche Fernprognose sein kann, sei an den Ergebnissen der Arbeiten eines japanischen Meteorologen gezeigt, über die im folgenden berichtet werden soll.

Nach den an der Kaiserlichen landwirtschaftlichen Versuchsstation in Tokio von *H. Ando* durchgeführten Untersuchungen ist die Augusttemperatur ausschlaggebend für den Ausfall der Reisernte in Nordjapan. Einem warmen August folgt eine gute, einem zu kühlen August dagegen eine schlechte Ernte. Die kühlen Augustmonate 1902, 1905 und 1913 hatten Hungersnöte in den durch Mißernten betroffenen Landesteilen zur Folge. Diese Tatsache hat der derzeitige Direktor des Meteorologischen Zentral-Observatoriums in Tokio, *T. Okada*, aufgegriffen. In einer

bemerkenswerten Untersuchung<sup>1)</sup> versucht er festzustellen, ob es nicht möglich ist, die Entwicklung der Augusttemperatur schon längere Zeit vorauszusagen. Es besteht zwar eine nachgewiesene enge Beziehung der Temperatur zur Anzahl der Sonnenflecken, aber dieser Umstand läßt sich nicht prognostisch verwerten, da es keine sichere Vorhersage für die Sonnenflecken gibt.

Auf Grund von Erfahrungen, die bei früheren Untersuchungen gewonnen wurden, versucht nun *Okada* Beziehungen zu den Luftdruckverhältnissen weit entfernter Gegenden nachzuweisen. Als Unterlage stehen ihm die von 1883—1913 reichenden 31jährigen Beobachtungsreihen zur Verfügung. Zunächst wird eine Beziehung zu den Luftdruckverhältnissen über Südamerika hergeleitet, die durch die Druckreihen von Santiago und Buenos Aires dargestellt werden. Die eigentlichen Reihen konnten nicht verglichen werden, da in der Kurve der japanischen Reisernte die durch klimatische Einflüsse bedingte Schwanungskurve von einer anderen überlagert wird, die in der allgemeinen Verbesserung der Anbaumethoden ihren Grund hat und eine beständige Zunahme der Reisernte gegenüber dem langjährigen Mittel erkennen läßt. Bis zu einem gewissen Grade hat der Verf. dies ausschalten verstanden, indem er seinen Untersuchungen stets nur die Unterschiede zweier aufeinanderfolgender Jahre zugrunde legt. Es ergab sich folgendes Ergebnis: Je höher der Luftdruck im Mittel der Monate März—Mai über Südamerika gegenüber dem des vorhergehenden Jahres, um so höher auch die Augusttemperatur in Nordjapan über der des Vorjahres. Die Korrelationen, die diese Beziehungen zahlenmäßig belegen, ergaben für Hokkaido (Jesso), die nördlichste der großen japanischen Inseln, den Betrag von 0,623 bei einem wahrscheinlichen Fehler von 0,075, und für Tohoku, den nördlichen Teil von Nippon, 0,544 bei einem wahrscheinlichen Fehler von 0,087. Man ist also wohl berechtigt, besonders für den japanischen Norden von einem Zusammenhang zwischen der japanischen Augusttemperatur und dem südamerikanischen Luftdruck von März bis Mai zu sprechen.

*Okada* vergleicht auch noch die Luftdruckdifferenzen im März zwischen Zi-ka-wei, dem in meteorologischen Kreisen sehr bekannten Observatorium bei Shang-hai, und Miyazaki, einem Ort der Ostküste von Kiushiu, mit der Augusttemperatur in Nordjapan. Trotz der verhältnismäßig geringen Entfernung der verglichenen Gegenden ist der berechnete Korrelationskoeffizient doch nicht so groß, daß man diese Beziehungen als bestehend annehmen kann.

Prognostisch genügt natürlich die erste Beziehung zu Südamerika, wenn sie auch noch verbesserungsbedürftig ist, was durch Berücksichtigung weiterer Faktoren geschehen kann. Neben einigen Unstimmigkeiten passen aber gerade die Jahre mit besonders kühlen Augustmonaten und ausgesprochenen Mißernten in die aufgestellte Formel. Auch die Vergleichung der auf diese Weise errechneten Augusttemperaturen und Ernteerträge mit den tatsächlich eingetretenen gibt ein unter Berücksichtigung der Untersuchungsmethode günstiges Ergebnis.

Auf die naheliegende Frage, wie man sich den ursächlichen Zusammenhang zwischen den beiden Ereignissen

nissen in so weit entfernten Gegenden zu denken hat, geht *Okada* nicht ein. In einer zweiten Mitteilung<sup>2)</sup> untersucht er nur, wie die Temperaturverhältnisse Nordjapans mit denen der japanischen Küsten umspülenden Meeresströmungen in Einklang zu bringen sind. Bekannt war bereits, daß eisreiche Jahre in der Beringsee mit kühlen Sommern in Nordjapan, eisarme dagegen mit warmen Sommern zusammenfallen. Die Schwankungen der Temperaturen mit wechselnden Eisverhältnissen sind mit der verschiedenen Stärke des Aleuten-Luftdrucktiefs zu erklären, das bei stärkerer Ausbildung auch in verstärktem Maße die Zufuhr kalter Luftmassen aus höheren Breiten bewirkt. Das Aleutentief ist um so ausgeprägter, je größer der Unterschied zwischen der Temperatur des Festlandes und der des Meeres ist. Die Station Dutch-Harbour, ungefähr im Zentrum des tiefsten Druckes in der Mitte der Aleuten gelegen, kann charakteristisch für die Temperaturen des Meeres sein. Ihre Angaben wurden auch zur Reisernte in Nordjapan in Beziehung gesetzt mit dem Ergebnis: Je höher die Wintertemperatur in Dutch-Harbour gegenüber der des vorhergehenden Jahres, um so geringer ist auch das Ergebnis der Reisernte gegenüber dem Vorjahre. Diese Beziehung gilt auch umgekehrt.

Selbstverständlich gibt es auch hier noch Ausnahmejahre, in denen diese Regeln nur zum Teil zutreffen. Bei den nur tastenden Versuchen nach Beziehungen kann dies nicht überraschen. Jedenfalls bieten Arbeiten dieser Art aber einen Weg, wie man zu einer Fernprognose für längere Zeiträume kommen kann. Es ist Tatsache, daß man sich in der Meteorologie mehr auf das Studium der Tagesprognose geworfen hat oder mit einem von *A. Schmauß* treffend geprägten Worte Mikrometeorologie getrieben hat, anstatt zunächst die großen Zusammenhänge — Makrometeorologie — aufzudecken. In seinem Lehrbuch der Meteorologie wies *Kämtz* bereits 1831 auf diesen Punkt mit den Worten hin: „Es würde der Zustand der Meteorologie bei weitem vollkommener sein, wenn man bei Herleitung der Gesetze das Verfahren der Astronomen befolgt hätte. Während diese zuerst den Lauf eines Himmelskörpers im allgemeinen berechnen, ohne auf die Störung durch die benachbarten Planeten Rücksicht zu nehmen, suchen die Meteorologen zuerst einzelne Erscheinungen, Perturbationen gleichsam, im Laufe der Witterung, an einem Orte zu erklären, ohne auf den allgemeinen Lauf der Witterung an diesem Punkte und die atmosphärischen Erscheinungen in benachbarten Gegenden Rücksicht zu nehmen“ — und *Kämtz* setzt dann auseinander, wie die Ursache vieler Änderungen sehr weit entfernt liegen mag. Seitdem hat man bis zu einem gewissen Grade „Makrometeorologie“ getrieben. Aber es sind doch immer nur einzelne Untersuchungen geblieben, die untereinander nur wenig in Verbindung stehen. Eine umfassende Bearbeitung all der gefundenen Beziehungen fehlt uns noch. Die entdeckten Tatsachen sind auch noch systematisch zu verbessern. Wegen des Umfanges der Arbeit wird die Kraft eines Einzelnen dazu nicht ausreichen. Wahrscheinlich ist das meteorologische Beobachtungsmaterial, wie es uns in den Jahrbüchern der meteorologischen Institute dargeboten wird, für diese Zwecke noch nicht in die richtige Form gebracht. Die willkürliche Monateinteilung zerreißt manche Periode mit einheitlicher Witterung, während anderer-

<sup>1)</sup> On the possibility of forecasting the summer temperature and the approximate yield of rice-crop for northern Japan. The Bulletin of the Centr. Met. Observatory of Japan Vol. III, Nr. 1, 19—32.

<sup>2)</sup> The Memoirs of the Imperial Marine Observatory Kobe, Japan, Vol. I, Nr. 1, 18—26, 1922.



seits in manchem Monatsmittel ganz verschieden gartete Witterungen stecken werden. Da sich die bisherigen Arbeiten meist der Monatsmittel bedienen, werden manche Zusammenhänge verwischt oder auch in das Gegenteil verwandelt worden sein. Die Berücksichtigung gleicher Witterungsperioden erscheint mir daher die Vorbedingung für wirklich erfolgreiche Forschung. Die hierfür notwendige Umbearbeitung des Beobachtungsmaterials könnte nur mit den Mitteln eines unserer großen meteorologischen Institute durchgeführt werden. Die sehr große Bedeutung, die eine sichere Vorhersage des Witterungscharakters längerer Zeiträume hat, würde jedenfalls die aufgewandten Mühen und Kosten lohnen.

K. Knoch.

## Besprechungen.

Willis, J. C., *Age and Area*. Cambridge, at the University Press, 1922. X, 259 S. Preis 14 sh.

Das Buch ist, wie der Verfasser betont, als Produkt eines ganzen auf Reisen in allen Ländern und beim genauesten Studium der geographischen Verteilung der Pflanzenarten zugebrachten Lebens entstanden. Sein Inhalt beabsichtigt, das Material für die Hypothese zusammenzustellen, die der Verfasser als „Age und Area“ bezeichnet. Beim Studium der Flora von Ceylon hatte er bemerkt, daß außerordentliche Unterschiede bestanden in dem Areal, das verschiedene Arten der gleichen Gattung einnehmen, und zwar endemische und weiter verbreitete Arten. Es zeigte sich, daß die endemischen Arten im Durchschnitt den kleinsten Raum auf der Insel einnahmen, diejenigen, die auch auf der indischen Halbinsel sich fanden, einen etwas größeren Raum und die, die noch weiter verbreitet waren, auch in Ceylon den größten Raum einnahmen. Als die räumliche Verteilung endemischer und weiter verbreiteter Arten genauer studiert wurde, zeigte es sich, daß sie in einer Serie angeordnet werden konnten, und zwar die endemischen, beginnend mit vielen Arten kleinerer Verbreitung bis zu wenigen Arten mit großer Verbreitung, die weit verbreiteten aber umgekehrt. Dies konnte nicht mit der üblichen Annahme der lokalen Anpassung der endemischen Formen und ihrer Auffassung als Relikte in Übereinstimmung gebracht werden. Das genaue statistische Studium dieser Tatsachen sowohl für Ceylon, Neuseeland als auch eine ganze Reihe anderer Verbreitungsgebiete führte zur Formulierung der Hypothese, die mit den Worten des Verfassers lautet: „Das Areal, das irgendeine Gruppe von mindestens zehn nahe verwandten Arten zu einer gegebenen Zeit in einem gegebenen Lande einnimmt, hängt, solange die Bedingungen einigermaßen konstant bleiben, von dem Alter der betreffenden Art in dem betreffenden Lande ab.“ Es mag außerordentlich modifiziert werden durch die Anwesenheit von Hindernissen, wie Meer, Flüsse, Berge, Klimadifferenzen und dergl., ebenso durch den Eingriff des Menschen und andere Ursachen.“ Der Schluß ist also der, daß die ganz vereinzelt vorkommenden endemischen Arten, die sich z. B. nur auf einem einzigen Berggipfel finden, die jüngsten Formen sind. Zur Begründung dieser Hypothese gibt Verfasser zunächst einiges Material über Anpassung, über Verbreitungsmechanismen und ähnliche für die Ausbreitung der Arten erforderliche Bedingungen. Dann wird reiches Material für die Theorie zugefügt, wobei auch einige andere Autoren Beiträge liefern, nämlich J. Small über die Anwendung auf die Kompositen, E. M. Reid über die paläobotanischen Gesichtspunkte. Ferner wird auch einiges von Spezialisten erhaltene Material für tierische Objekte angeführt. Besonders

gründlich wird das Material für die Inselflora behandelt und dabei gezeigt, daß auf den Inseln verhältnismäßig nicht mehr endemische Formen vorkommen als in Westaustralien, Südafrika, Brasilien usw. und daß also die spezifischen Inselformen entsprechend der Hypothese die jüngsten Formen sind. In einem weiteren Kapitel über die Veränderung der Arten schließt sich Verfasser der Mutationstheorie an und äußert sich sehr deutlich dahin, daß es nicht die kleinen Arten sind, die den Anfang der Artbildung darstellen, sondern daß im Gegenteil die Linnéschen Arten durch einen einzelnen Mutationsschritt entstanden. Diesem Abschnitt ist ein Kapitel von de Vries zugefügt, der sich in den wesentlichen Punkten dem Autor anschließt.

Es ist nicht die Aufgabe des Referenten, zu der Hypothese Stellung zu nehmen. Er möchte aber vom Standpunkt der Vererbungslehre darauf hinweisen, daß es notwendig ist, daß die Vererbungsforscher sich mit solchen Arbeiten genau beschäftigen, da das Artbildungsproblem nur dann gelöst werden kann, wenn die experimentelle Forschung Hand in Hand arbeitet mit Systematik und Tiergeographie, wobei die Ansichten von Forschern, die die genaueste Kenntnis und Erfahrung auf diesem Gebiet haben, ernstlich zu berücksichtigen sind.

R. Goldschmidt, Berlin-Dahlem.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Bemerkungen zu Preys Kritik über Hörbigers Welteislehre.

(Zu Heft 27 vom 7. Juli 1922.)

„Sollte der Verfasser — nämlich Hörbiger — mit seiner Theorie recht haben, so werden ihn künftige Generationen als einen Dichter und Seher, aber nicht als einen Forscher ehren, und er darf uns heute keinen Vorwurf machen, wenn wir seine Ansichten ablehnen. Es bleibt ihm dann nichts übrig, als 2 oder 3 Jahrhunderte zu warten, bis wir flügelahnen Astronomen seinem Hochflug folgen können.“ Die Siegesgewißheit, zu der sich Prey in diesen Zeilen bekannte, kann nicht wohl überboten werden. Also müßten die Gründe — da die Preyschen Ausführungen sich vom Persönlichen in aner kennenswerter Weise freihalten, was bei Hörbiger selbst, wenn auch für den Eingeweihten begreiflich, leider nicht immer festzustellen war — die Lehre schlagend widerlegen. Hierzu im folgenden einige Bemerkungen, die trotz der dafür geforderten räumlichen Beschränkung doch vielleicht schon geeignet sind, den bezeichneten Zeitraum der Hochflug-Wartezeit zu verkürzen.

Alle Wissenschaft, die sich mit dem Naturgeschehen befaßt, hat sich auf Erfahrungstatsachen zu stützen, aus denen sie die spekulativen Gesichtspunkte schöpft: Praxis und Theorie bilden ihre beiden Disziplinen. Die Erfahrungstatsachen der Astronomen liefern den Kosmologen die Grundlagen für ihre theoretischen Spekulationen. Hörbiger ist vor allem Kosmologe; was er auf astronomischem Gebiet an neuen Anschauungen bringt, kann hier unerörtert bleiben. Auf kosmologischem Gebiet will er neue Wege zeigen, aber der Umstand, daß auch die Kosmologen gemeinhin zu den Astronomen gerechnet werden, veranlaßt ihn, sie in seine ablehnenden Betrachtungen einzubeziehen. Die spekulative Disziplin der Kosmologie nun stützt sich nicht allein auf das vorhandene Beobachtungsmaterial, sondern geht darüber hinaus eigene Gedankenwege. Da leider das Tatsachenmaterial noch wenig ausgiebig, also das theoretische Gebäude in erheblichem Maße auf Gedanken-



kombination angewiesen ist, befindet sich hier der Laie dem Fachmann gegenüber nicht allzu sehr im Nachteil. Soweit er seine Veröffentlichungen auf die vorhandenen Quellenwerke stützen muß, ist diese Voraussetzung bei Hörbiger mehr als hinreichend erfüllt; darüber gibt das Verzeichnis der von ihm studierten Literatur umfassenden Aufschluß.

Prey bemängelt, daß sich Hörbigers Theorie mit den bisherigen Beobachtungen im Widerspruch setze, aber er begeht den Fehler, Hörbigers Lehrgebäude nicht Beobachtungen, sondern lediglich anderen Theorien gegenüberzustellen, die er als unantastbar hinstellt. Dabei zeigt sich, daß ihm die Ergebnisse der eindringenden neueren Forschungen auf dem Gebiete der angewandten Mechanik nicht genügend vertraut sind. Wenn er auf Seite 583 dieser Zeitschrift schreibt, daß man ohne numerische Überlegung nicht sagen könne, was geschieht, so wird man ihm gern beipflichten, unter dem Vorbehalt freilich, daß sorgfältig abgewogen werden muß, wo denn die Grenzen der numerischen Überlegungen zu ziehen sind.

Diese führen häufig zu Trugschlüssen. Das gilt beispielsweise schon bezüglich der rechnerischen Betrachtungen, mit denen die Bewegungsbahnen der Eiskörper zur Sonne wegbezwiesen werden sollen. Diese Körper bewegen sich in einem widerstehenden Mittel, gemeinhin als Äther bezeichnet. „Um die Aufgabe numerisch behandeln zu können, muß zunächst festgestellt werden, wie groß der Widerstand des Mittels überhaupt sein darf. Der Einfluß des Widerstandes ist der Masse  $m$  des Körpers verkehrt, seinem Querschnitt  $q$  gerade proportional. Nehmen wir endlich an, daß der Widerstand vom Quadrat der Geschwindigkeit  $v$  abhängt, so erhalten wir den Ausdruck

$w = \frac{\kappa q v^2}{m}$ , wo  $\kappa$  eine Konstante bezeichnet.“ Das ist die bekannte Eulersche Formel für den Luftwiderstand, eine Formel, die vom Ballistiker als roheste Faustregel geduldet wird, wenn er für Geschößgeschwindigkeiten bis zu 250 m/Sek. Überschlagsrechnungen anstellen will. Sie liefert für Körper, die in der Flugbahn gleich gelagert bleiben, leidliche Ergebnisse, wenn durch zahlreiche vollständig gleichartige Versuche die Konstante ungefähr bestimmt werden kann. Aber allgemein gilt die Formel nicht. So viele Größen in ihr vorkommen, so viele Willkürlichkeiten birgt sie. So ist zunächst die Annahme Eulers willkürlich, daß der Luftwiderstand — nur an die Luft als widerstehendes Mittel ist hier zu denken — von dem Quadrat der Geschwindigkeit abhängig sei. Heute weiß man, daß die Abhängigkeit eine außerordentlich verwickelte ist, die sich durch Potenzgesetze gar nicht hinreichend ausdrücken läßt. Der Geschwindigkeitsbereich bis zu etwa 1500 m/Sek., für den verschiedene verwickelt gebaute Potenzgesetze bei Bewegungen von Flugkörpern in der Luft noch eben anwendbar sind, ist so klein, daß eine Übertragung dieser Formel auf größere Geschwindigkeiten unzulässig ist. Jeder Ballistiker weiß das. Ohne Bedenken wendet aber Prey die Formel für Geschwindigkeiten bis zu 20 000 m/Sek. an, obendrein gar noch für Bewegungen, die nicht in der Luft, sondern im Äther vor sich gehen, über dessen Widerstandsverhältnisse und Verteilung Erfahrungen überhaupt nicht vorliegen, über die daher natürlich auch Hörbiger auf Voraussetzungen angewiesen ist. Auch die elementare Annahme, daß der Widerstand dem Querschnitt  $q$  proportional sei, gehört der Geschichte an. Danach wären beispielsweise die Luftwiderstände, die eine Kugel, ein zylindrisches oder ein Spitzgeschöß von gleichem Durchmesser erfahren,

bei gleichen Geschwindigkeiten einander gleich, während sich doch die Ballistiker schon lange abmühen, den Einfluß, den die Körpergestalt der Projektile auf den Widerstand haben muß, nach langen scharfsinnigen Versuchsreihen in einigermaßen zuverlässige Formeln zu kleiden. Diese sind dann regelmäßig recht verwickelt<sup>1)</sup>. Der deutsche Altmeister der Ballistik, Geheimrat Cranz, wies nach, daß man nicht einmal die Erfahrungen mit Infanteriegeschossen auf Artilleriegeschosse übertragen darf, wie es die ältere Ballistik tat. Prey macht aber überhaupt keinen Unterschied hinsichtlich der Form der sich bewegenden Körper. Eine so primitive Formel wie die von Euler, unter vollständiger Außerachtlassung von Größe und Form der Körper gar für den Weltenraum anzuwenden zu wollen, ist mehr als kühn. Wenn also Prey Hörbigers Voraussetzungen wegweisen will, so ist dazu jedenfalls die veraltete Eulersche Formel nicht zu brauchen. Wohl aber ist sie dazu zu verwenden, für bestimmte Zwecke genehme Werte zu errechnen, wenn nur für den gewollten Fall eine entsprechende Konstante zugrunde gelegt wird.

Ähnlich lassen sich auch die meisten anderen Einwände Preys widerlegen, wenn auch nicht innerhalb des mir zur Verfügung gestellten Raumes. So ließe sich beispielsweise der Fall der über Prag weggehenden Sternschnuppe weiter beleuchten. Bei weiterem Durchdenken dieses Beispiels würde Prey gefunden haben, daß Prag, falls seine Beobachtungsdaten richtig sind, südlich vom Äquator liegt.

Was Prey mit seinen Zeilen eigentlich bezweckte, die er jetzt, 10 Jahre nach Erscheinen des Hörbigerschen Werkes, auf dessen Besprechung verwendet, ist mir nicht recht klar geworden. In den 16 Spalten hätte sich auch von einem Gegner der Lehre Hörbigers recht viel Positives sagen lassen, ohne etwaige Bedenken unterdrücken zu müssen. Er findet aber in der Hauptsache nur Negatives. Dem Umstande aber, daß Hörbigers Glazialkosmogonie — wie ich gern zugebe — schwer lesbar ist, ist längst abgeholfen durch Dr. Voigts Buch „Eis ein Weltenbaustoff, gemeinfaßliche Einführung in Fauth-Hörbigers Glazialkosmogonie“, das gegenwärtig in der zweiten umgearbeiteten Auflage bei Paetel erschienen ist, und das als neueste Erscheinung auf dem Gebiete viel eher Besprechung hätte finden sollen. Denn Hörbiger hat in den zehn Jahren seit Erscheinen seines jetzt von Prey besprochenen Werkes an der Entwicklung seiner Lehre unablässig weiter gearbeitet.

Berlin, den 12. September 1922. G. Kemmann.

### Erwiderung.

Auf meine Kritik der Hörbigerschen Glazialkosmogonie, welche im 27. Hefte erschienen ist, hat

<sup>1)</sup> Wie verwickelt diese aus Versuchsreihen herausgearbeiteten Formeln selbst schon unter einfacheren Verhältnissen werden, möge an dem Beispiel der Artilleriegeschosse mit 5–10 cm Querschnittsradius gezeigt sein. Hier gilt für den Luftwiderstand als bester Wert der folgende 1896 aufgestellte Ausdruck:

$$W = \frac{338 R^2 \delta i}{P} \left[ 0,002 v - 48,05 + \sqrt{(0,1648 v - 47,95)^2 + 9,6} + \frac{0,0422 v (v - 300)}{371 + \left(\frac{v}{200}\right)^{10}} \right]$$

Hier bezeichnen  $R$  das Geschößkaliber — also den Durchmesser des sich bewegenden Körpers —,  $P$  das Geschößgewicht,  $i$  den sog. Formkoeffizienten,  $\delta$  das Luftgewicht und  $v$  die Geschößgeschwindigkeit; zu vgl. C. Cranz Bd. I, 2. Aufl. 1917.



Herr Baurat Kemmann eine Erwiderung gebracht. Es ist bezeichnend für die ganze Theorie, daß ihre Anhänger nur aus Amateuren besteht. Gegen deren Argumente anzukämpfen ist ein undankbares Geschäft, da sie allen unseren Ausführungen immer den gleichen Unglauben entgegensetzen, während sie an Hörbigers Sätzen wie an einem Dogma festhalten. Ich möchte es daher nur als Form der Höflichkeit aufgefaßt haben, wenn ich auf Herrn Kemmanns Einwände erwidere.

Auf den Vorwurf, daß ich die verschiedenen Formen, in denen der Luftwiderstand wirken kann, nicht kenne, brauche ich wohl nicht einzugehen. Wenn Herr Kemmann Fachmann wäre, würde er ihn mir gewiß nicht gemacht haben.

Die Gründe, warum ich doch das einfache Gesetz mit dem Quadrat der Geschwindigkeit gewählt habe, sind die folgenden: Es ist ein sehr einfaches und plausibles Gesetz, welches für kleine Geschwindigkeiten eine gute Annäherung gibt. Dies gibt auch Herr Kemmann zu. Für den Äther oder ein ähnliches entsprechend dünnes Medium müssen wir aber offenbar andere Geschwindigkeiten als klein ansehen, als für die Luft. Darum ist auch das von Herrn Kemmann angeführte Beispiel aus der Ballistik sehr unglücklich gewählt. Bei einem Geschöß handelt es sich um Geschwindigkeiten, die für die Verhältnisse der Luft sehr groß sind, indem sie die Schallgeschwindigkeit um ein Vielfaches übertreffen. Die Luft kann nicht mehr ausweichen und der Einfluß des Widerstandes wächst ungeheuer an. Natürlich kann man ihn nun nicht mehr nach einer einfachen Formel rechnen. Ein ähnlicher Fall würde im Äther erst bei Geschwindigkeiten eintreten, die der Lichtgeschwindigkeit nahe liegen. Die planetarischen Geschwindigkeiten sind aber demgegenüber noch sehr klein. Dies ist auch daraus zu sehen, daß wir einen Einfluß des Widerstandes im Planetensystem überhaupt noch nicht nachweisen konnten. Für solche Fälle kleinen Widerstandes genügt aber die „Faustregel“ vollständig, und es ist ganz berechtigt, sie auf den Äther anzuwenden. Überdies wird sie auch von Hörbiger selbst verwendet. Der Einwand, daß wir über den Äther nichts wissen, ist ja im allgemeinen zutreffend, aber es genügt die Feststellung, daß sein Widerstand gering ist. Jedenfalls aber ist es unstatthaft, zu sagen, beim Äther sei die Sache anders, und dann auf dieses unbekannte „Andere“ eine ganze Kosmogonie aufzubauen. Hier hört eben die Wissenschaft auf und beginnt das Reich der Phantasie. Man könnte damit höchstens einen Verzicht auf alle kosmogonischen Untersuchungen begründen.

Der springende Punkt ist aber der: meine Resultate sind von der Form des Widerstandsgesetzes im wesentlichen unabhängig. Meine Ergebnisse lassen sich ja kurz im folgenden zusammenfassen: 1. Alle Körper, welche den Widerstand stark verspüren, und das sind auch nach Hörbiger hauptsächlich die kleinen, gelangen überhaupt nicht zur Sonne. 2. Die Laufzeiten sind immer zu kurz. Ich habe sie berechnet für großen und für kleinen Widerstand, für bewegten und für ruhenden Äther, es kommt für den galaktischen Eisring immer eine Lebenszeit heraus, die für alle kosmogonischen Begriffe viel zu kurz ist. Daran ändert sich auch nichts, wenn man irgendein anderes Widerstandsgesetz einführt. Was die Konstante des Gesetzes anbelangt, so habe ich sie nicht, wie Herr Kemmann meint, nach vorgefaßten Meinungen, sondern so groß gewählt, als sie im Planetensystem überhaupt möglich ist, ohne daß man mit den Beobachtungen in

Widerspruch käme. Wäre sie bedeutend größer, so müßte der Einfluß auf die Planeten längst merklich geworden sein; ist sie aber viel kleiner, so fällt damit Herrn Hörbigers Schrumpfungstheorie.

Herrn Kemmanns Bemerkung über das Meteor ist mir unverständlich geblieben.

Ich möchte noch hinzufügen, daß ich keine Theorie für unantastbar halte; doch genügt es nicht, sie als falsch zu bezeichnen, man muß auch den Fehler zeigen. Ist ein solcher aber einwandfrei festgestellt, so wird kein vernünftiger Mensch an der Theorie festhalten.

Was endlich den Umstand betrifft, daß ich nicht das neue Buch von Voigt, sondern Hörbiger-Fauths Originalwerk einer Kritik unterzogen habe, so will ich darauf hinweisen, daß bisher allen Kritikern der Glazialkosmogonie der Vorwurf gemacht wurde, daß sie sich an Auszüge und Überarbeitungen gehalten haben und sich nicht die Mühe nahmen, das große Hauptwerk zu studieren.

Prag, den 16. Oktober 1922.

A. Prey.

## Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde.

Die Hauptversammlung der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde, die vom 14.—17. Oktober dieses Jahres in Essen abgehalten wurde, zeigte durch die unerwartet rege Beteiligung, daß bei Technik und Wissenschaft großes Interesse für die dort behandelten Fragen besteht. In angeregter und eifriger Arbeit wurde eine Reihe Probleme aufgerollt und behandelt; über die wichtigsten Ergebnisse der Tagung sei kurz berichtet.

Die Reihe der Vorträge technisch-wissenschaftlichen Inhalts wurde eröffnet durch ein Referat von Dr.-Ing. A. Peter (Berlin) über *das Pressen von Metallen*. Der Vortragende erläuterte an Hand von vielen Lichtbildern die Maschinen, die zu diesem Zweck gebraucht werden, beschrieb Preßformen und Gesenke, erörterte den Preßvorgang in seiner Art als Quetsch-, Stauch- und Spritzarbeit, machte auf den Einfluß der Preßgeschwindigkeit bei den verschiedenen Typen (Frikions-, Exzenter- und hydraulischen Pressen) aufmerksam, besprach eingehend die benutzten Legierungen in bezug auf ihre mechanischen Eigenschaften, erwähnte auch entsprechend die wirtschaftliche Seite und führte an einem in den Werken der A. E. G. aufgenommenen, besonders wohl gelungenen Film in anschaulicher Weise den Gang des Verfahrens vom Guß bis zum fertigen Preßstück vor. Ein Techniker, der das Gebiet durch eigene Erfahrung und Arbeit von Grund aus beherrscht, sprach hier für Techniker, die ihm dafür Dank wissen werden.

Mehr kompilatorisch war ein Vortrag von Obering. Th. Metzger (Düsseldorf) über die *elektrischen Schmelzöfen für Nichteisenmetalle*. Hier wurden alle Typen für diesen Zweck dienlicher Öfen eingehend behandelt, die technischen Einzelheiten und Leistungen besprochen und an vielen Bildern erläutert. Die Fülle des Materials war allerdings so groß, daß selbst der nähere Fachmann nicht ohne weiteres in der Lage sein wird, aus dem Mitgeteilten die für seinen speziellen Zweck geeignetste Ofenkonstruktion herauszufinden.

Mit der ausgesprochenen Absicht, weite Kreise der Wissenschaft und Technik erneut auf das technisch so ungemein wichtige und trotz vielseitiger Untersuchung noch recht ungeklärte Gebiet der *Korrosion* besonders von *Nichteisenmetallen* hinzuweisen und zu gemeinsamer Arbeit aufzufordern, behandelte Prof. Fraenkel (Frankfurt) das Korrosionsproblem. Er gab eine Übersicht darüber, wie sich die Frage heute von der



wissenschaftlichen Seite darstellt, indem er sich im allgemeinen auf den Standpunkt stellte, daß es elektrochemische Vorgänge sind, die bei der Korrosion von ausschlaggebender Bedeutung sind. Vom Lösungsdruck der Metalle ausgehend, wurde Gleichgewichtspotential, Passivität, Polarisation, Überspannung usw. in ihrer Beziehung zur Korrosion behandelt; vom Gleichgewichtspotential wurde das aktuelle Potential einer arbeitenden Elektrode unterschieden, die Frage der Potentiale von Legierungen wurde kurz besprochen, des Einflusses der mechanischen Beanspruchung, des Dispersitätsgrades gedacht und für die weitere Forschung einige Richtlinien aufgestellt, die darin erblickt wurden, daß man sich statt mit komplizierten technischen Legierungen mit möglichst gut definierten einfachen Systemen mehr beschäftigen solle. Bereits vorliegende Untersuchungen wurden erwähnt. Die letzten Ziele der Korrosionsforschung wurden angedeutet und die Schwierigkeiten zur Erreichung derselben gebührend gewertet. Schließlich wurde die technische Frage, die bezüglich der Korrosion von Nicht-eisenmetallen am wichtigsten und dringlichsten ist, die Kondensatorrohr-Korrosion kurz an Hand englischer und deutscher Forschung behandelt. Eine Reihe von Lichtbildern zeigte die Anfressungserscheinungen und die Hauptwege, die zum Schutz gegen Kondensatorhavarien bisher angewandt wurden. Für die Begriffe Korrosion selbst, gleichmäßige und örtliche, allgemeine und selektive Korrosion werden einheitliche Definitionen vorgeschlagen. Im erbetenen Meinungsantausch, der rege Beteiligung fand, wurden die Schwierigkeiten der restlosen Lösung des Problems von verschiedenen Rednern unterstrichen, allgemein aber auch anerkannt, daß eine systematische Untersuchung an wohldefinierten einfachen Systemen die unbedingt notwendige wissenschaftliche Grundlage bilden müsse.

Professor *Guertler* (Berlin) gab dann am Schlusse einer sich über den ganzen Tag hinziehenden Sitzung eine kurze Übersicht über seine Forschungen an ternären Legierungen, in denen er zeigte, daß man die *Beeinflussung von Metallen durch gleichzeitige verschiedenartige Zusätze* in systematischer Weise durch bestimmt ausgewählte Schnitte im ternären Gleichgewichtsdigramm mit vergleichsweise geringer experimenteller Arbeit studieren könne. Die vom Vortragenden in Zusammenarbeit mit einer Reihe von Schülern angewandte Methode der von ihm so genannten Klärkreuze wurde skizziert. Leider ist es nicht möglich, mit wenigen Worten das Gebiet zu umreißen, wozu ein eingehendes Studium notwendig ist. Erwähnt sei hier nur, daß vom Vortragenden eine ganze Reihe Systeme auf diese Weise durchgearbeitet worden ist, und daß man dadurch schnell eine Übersicht zu gewinnen vermag, wie die Eigenschaften bestimmter Legierungen sein werden. Für die Metallurgie sind diese Forschungen schon von praktischer Bedeutung geworden.

Ein ganzer Nachmittag war der Frage der *Untersuchung der Metallstruktur mit Röntgenstrahlen* gewidmet. Das besondere Interesse, daß diesen Forschungen entgegengebracht wurde, zeigte sich schon durch die Ausdehnung der Sitzung bis in die ersten Nachtstunden. Nachdem Dr. *E. Schiebold* (Berlin) in langem Vortrag die verschiedenen Methoden (Laue, Bragg, Debye-Scherrer) erörtert und in ausführlicher Weise abgeleitet hatte, was diese zu leisten vermögen und welche Folgerungen sich aus den Ergebnissen für den kristallinen Aufbau der Materie ziehen lassen, berichtete Obering. *J. Czochralski* (Frankfurt) über

seine neuesten systematischen Versuche bei normalen und kalt gereckten Aluminiumkristallen. Er zeigte die Beugungsbilder, die nach der Lauemethode bei Durchstrahlung eines einzigen und einer steigenden Menge von Kristallen — bis zu einer Million im Bestrahlungsfelde — sich ergeben, indem er als Material nach verschiedener Behandlung rekristallisierte dünne Aluminiumstreifen benutzte. Er demonstrierte den Einfluß, den das Übereinanderlegen mehrerer Einkristallplatten in verschiedener kristallographischer Orientierung auf das Bild ausübt, und führte die eigenartigen Veränderungen vor, die sich ergeben, wenn man nun diese Bänder durch mechanische Beanspruchung überelastisch mehr oder weniger reckt. Während bei den normalen Kristallen ein Photogramm, das immer mehr Punkte zeigt, je mehr Kristalle vorhanden sind, entsteht, ergeben sich bei beanspruchten Metallkristallen Verzerrungen der Punkte, die bei stärkeren Reckgraden zu einem sternartigen Gebilde führen, in dem die einzelnen Punkte nicht mehr diskret sichtbar sind. Die Veränderung dieser Sternanordnung, je nachdem das Stück senkrecht zur Walzoberfläche, oder um 90° verschoben oder in der Walzrichtung durchstrahlt wird, werden gezeigt, wobei sich ergab, daß die Hauptreflexionsrichtungen senkrecht und parallel zur Walzrichtung sich einstellten. Aus all dem wurde vom Vortragenden der Schluß gezogen, zu dem er schon auf Grund früherer Beobachtungen auf ganz anderem Wege gekommen war, daß das Raumgitter beim Kaltbearbeiten gestört wird, was für die Theorie der Verfestigung von prinzipieller Bedeutung ist.

In Ergänzung dieser Betrachtungen berichtete dann noch Prof. *Groß* (Greifswald) über gleichzeitig und unabhängig von *Czochralski* ausgeführte Versuche. Der Forscher geht zunächst von der Tatsache der Gleitflächenbildung aus, die er an Steinsalzkrystallen in eleganter und exakter Weise entwickelt. Er stellt fest, daß außer den beiden bekannten Hauptgleitrichtungen noch eine dritte bestehen muß, die zwar schon früher einmal beschrieben wurde, inzwischen aber wieder in Vergessenheit geraten ist. Gerade diese macht eine Krümmungsmöglichkeit der Gleitflächen auch kristallographisch verständlich und ist für das Problem der Raumgitterstörung von Kristallen von ausschlaggebender Bedeutung. Bei röntgenographischen Untersuchungen an in der Hitze gebogenen Steinsalzstäbchen sowohl wie auch an gezogenen Wolframdrähten kam *Groß* zu ganz analogen Ergebnissen wie *Czochralski*, was er im einzelnen vorführte.

Beide Vorträge, die in der Tagesordnung nicht vorgesehen waren, erregten das lebhafteste Interesse der Hörer, die in eine rege Diskussion darüber eintraten, ob die von den Forschern gezogene Schlußfolgerung einer Raumgitterstörung unbedingt aus den Versuchsergebnissen sich ergeben muß, worüber die Versammlung leider mangels Beibringung neuer Gesichtspunkte zu keinem abschließenden Urteil kam. Der Meinungsantausch wandte sich dann sofort der Frage der Verfestigung zu, und da allgemein anerkannt wurde, daß man darüber zu keiner Einigung kommen werde, wurde am Ende der Tagung beschlossen, das Problem der Verfestigung zum Hauptverhandlungsthema einer späteren Versammlung zu machen. Es steht zu hoffen, daß sich bis dahin die Meinungen soweit aneinander angeglichen haben werden, daß bei erneuter Aussprache eine allgemein erwünschte Klärung dieser Frage sich ergeben wird.

W. Fraenkel.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 47. (Seite 999—1014)

24. November 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Über physiologische Umformung von Eiweißkörpern. Von *Albrecht Kossel, Heidelberg*. (Mit 1 Abbildung.) S. 999.

Die astronomische Festlegung des Trägheitssystems. Von *Julius Bauschinger, Leipzig*. S. 1005.

### Besprechungen:

Becher, Erich, Geisteswissenschaften und Naturwissenschaften. Von *Paul Luchtenberg, Köln*. S. 1010.

Fodor, Andor, Das Fermentproblem. Von *Felix Ehrlich, Breslau*. S. 1013.

Häri, Paul, Kurzes Lehrbuch der physiologischen Chemie. Von *Leon Asher, Bern*. S. 1014.

Tropfke, J., Geschichte der Elementarmathematik. Von *Friedrich Drenckhahn, Rostock*. S. 1014.

### Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Über eine Methode zur Bestimmung der Natur der durch den Stoß langsamer Elektronen gebildeten Ionen. Von *H. Kallmann und P. Knipping, Berlin-Dahlem*. S. 1014.

Berichtigungen. S. 1014.

# ZEISS

## MIKROSKOPE

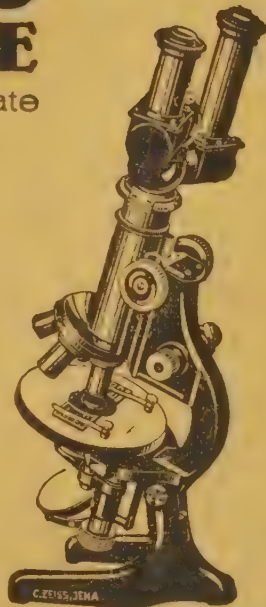
und mikroskopische Hilfsapparate



Lupen  
Projektionsapparate  
Epidiaskope  
Photo - Objektive

usw.

Druckschriften auf  
Wunsch kostenfrei



### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

Redaktion der „Naturwissenschaften“  
Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 250.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 25.—.

Sollte die im Druck- und Papiergewerbe auch weiterhin fortschreitende Teuerung, deren Ende heute noch nicht abzusehen ist, eine abermalige Erhöhung des Bezugspreises innerhalb des 4. Quartals 1922 notwendig machen, so muß sich der Verlag schon heute eine entsprechende Nachberechnung vorbehalten.

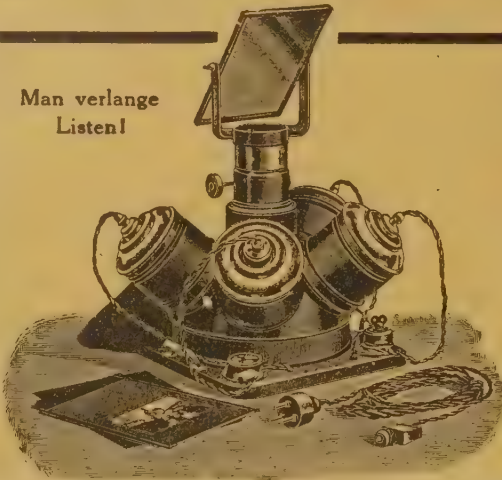
Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 36.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
5 10 20 30% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.  
Postcheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 2020 Julius Springer,  
Konten für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

Man verlange  
Listen!



### Projektions-Apparate Liesegang

Hochkerziges

## Globoscop

entwirft scharfe, helle Lichtbilder nach jedem Papierbild. An jede elektrische Lichtleitung anzuschließen.

Neue große Lichtbilder-Sammlung  
aus allen Gebieten  
für Lehr- und Vortragszwecke!

Ed. Liesegang, Düsseldorf  
Brieffach 124

Die Anschaffung des (297)

### Handwörterbuchs der Naturwissenschaften



10 Bände in Halbleder Tagespreis, erleichtert durch Zahlung in bequemen Monatsraten. Das Werk wird sofort vollständig geliefert.

H. Meusser, Buchhandlung  
Berlin W 57/9, Potsdamer Straße 75.

### Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu kaufen gesucht. Angebote unter  
Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

Als Ergänzung zu den „Naturwissenschaften“ erscheint demnächst

## Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften

Herausgegeben von der Schriftleitung der Naturwissenschaften

Die „Ergebnisse“ sollen im wahren Sinne des Wortes das „Gewordene“ schildern, den augenblicklichen Stand des Wissens auf den einzelnen Gebieten. Sie haben nicht die Aufgabe, jede einzelne Arbeit irgendwo und irgendwie einzuordnen, also eine Übersicht über Veröffentlichungen zu geben, sondern sie sollen eine Übersicht über die Sache geben. — Die „Ergebnisse“ werden das in Zukunft von Jahr zu Jahr tun, ihr erster Band greift etwas weiter zurück.

Der erste Band umfaßt etwa 30 Bogen in Lexikonformat und wird den Beziehern der „Naturwissenschaften“ zu einem Vorzugspreise geliefert.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9



## Über physiologische Umformung von Eiweißkörpern<sup>1)</sup>.

Von A. Kossel, Heidelberg.

Die chemischen Umwandlungen, welche sich unter der Einwirkung der Lebensvorgänge in den höheren Organismen an den großen Molekülen der Proteinstoffe vollziehen, kommen in zweierlei Art zur Erscheinung.

Im ersten Falle wird der zur Zersetzung bestimmte Eiweißstoff unter Zerstörung seiner eigenartigen chemischen Struktur aufgelöst und es entstehen bekannte Endprodukte des tierischen Stoffwechsels. Hierbei wird der Energieinhalt des Moleküls bis auf einen kleinen Rest ausgeschöpft. Dieser ganze Vorgang dient im wesentlichen dem Energiebedürfnis der lebenden Teile.

Im zweiten Fall ist der Umwandlungsprozeß weniger eingreifend. Die eigenartige Struktur des Eiweißstoffs oder wenigstens die seiner Teile bleibt zunächst erhalten. Der Sinn dieser Prozesse ist nicht die Ausnutzung des Energieinhalts, sondern die Bildung von Stoffen, die bestimmte physiologische Funktionen vollführen. Zum Beispiel wird ein leicht veränderlicher Eiweißstoff in die widerstandsfähige Hornsubstanz verwandelt, welche dann zum Schutze des Organismus bestehen bleibt. Oder: ein pflanzlicher Eiweißstoff, der in der Nahrung zugeführt ist, wird im tierischen Organismus zum Zweck der Gewebsbildung umgebaut. Oder: aus dem Molekül der im Tierkörper verarbeiteten Proteine, mögen sie nun Bestandteile der Organe oder Bestandteile der Nahrung sein, werden einzelne Atomgruppen herausgelöst und zur Bereitung von Werkzeugen für bestimmte biochemische Betriebe verwendet, z. B.: für die Atmung, für die Sekretion oder Inkretion oder ähnliches. Alle diese Umwandlungen will ich im Gegensatz zu vollständiger Auflösung eines Eiweißstoffes als „Umformung“ zusammenfassen.

Ehe ich nun versuche, die Aufmerksamkeit auf einzelne Vorgänge dieser Art zu lenken, möchte ich einige Worte über die Zusammensetzung der Proteinstoffe vorausschicken. Die Erforschung der Proteine hat bekanntlich zu der Vorstellung geführt, daß das umfangreiche Molekül dieser Körper aus einer gewissen Anzahl gleichartiger oder ähnlicher Teile zusammengefügt ist, wie ein Gebäude aus Mauersteinen. Jeder dieser Bausteine enthält ein System oder „Skelett“ von Kohlenstoffatomen, welche in offenen oder ringförmig geschlossenen Ketten aneinander gefügt

sind. Die freien Valenzen dieser Kohlenstoffatome sind mit Atomen anderer Art: Wasserstoff, Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff besetzt. Einzelne dieser letzteren Atome stellen die Verbindung der Bausteine untereinander her.

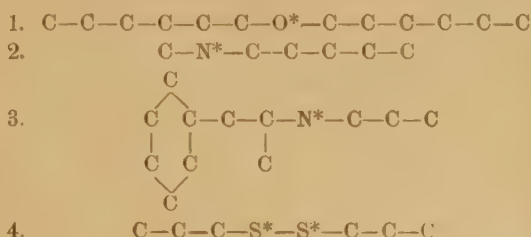
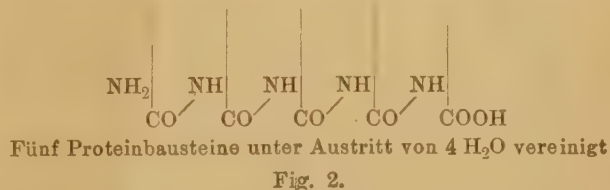
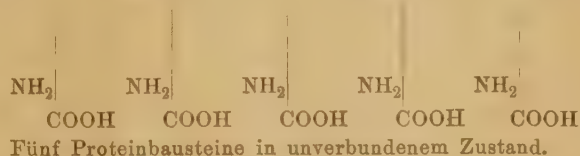


Fig. 1.

In diesem Schema sind die nackten Kohlenstoffskelette und außerdem die O-, N-, S-Atome angegeben, welche die Kohlenstoffskelette verbinden. Es sind dreierlei Art Verbindungen je zweier Bausteine oder zweier Kohlenstoffskelette dargestellt, die verbindenden Atome sind durch einen Stern gekennzeichnet.

Wir haben heute noch keine genügende Vorstellung von der Anzahl der Bausteine, welche in dieser Weise zur Bildung eines typischen Eiweißmoleküls zusammentreten, in vielen Fällen ist überhaupt eine Grenze für das Wachstum des Proteinmoleküls nicht erkennbar.

Die Bausteine der Proteine tragen im allgemeinen den Charakter von Aminosäuren. Diese Körper sind bekanntlich durch zwei reaktionsfähige Atomgruppen gekennzeichnet, die Carboxylgruppe und die Aminogruppe. Diese beiden Gruppen können als Haftorgane angesehen werden, durch welche sich die Aminosäuren untereinander verbinden. Die Verbindungsart besteht



darin, daß eine Aminogruppe des einen Bausteins mit einer Carboxylgruppe des andern unter Austritt der Elemente des Wassers vereinigt ist. Unterwirft man nun die Proteinstoffe, einer tief-

<sup>1)</sup> Vortrag auf der Naturforscherversammlung Leipzig, 21. September 1922.

greifenden Hydrolyse, so zerfällt das Molekül unter Aufnahme von Wasser und man kann die Hydrolyse soweit treiben, daß man ein Gemisch von Spaltungsprodukten erhält, deren jedes einem Baustein entspricht.

Die verschiedenen am Aufbau der Proteine beteiligten Aminosäuren unterscheiden sich voneinander durch die Form und Größe des Kohlenstoffskeletts und weiterhin durch die relative Menge der Amino- und Carboxylgruppen. Viele von ihnen sind als Abkömmlinge der  $\alpha$ -Aminopropionsäure, des „Alanins“ zu betrachten, wie diese Zusammenstellung zeigt:

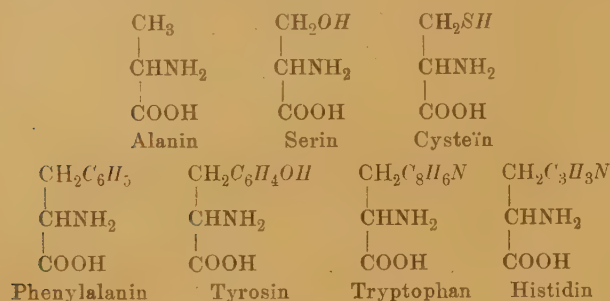


Fig. 3.

In einzelnen Aminosäuren überwiegen die Aminogruppen und dementsprechend die basischen Eigenschaften, wie beim Ornithin und Lysin, andere enthalten einen größeren Anteil an Carboxylgruppen und tragen demgemäß sauren Charakter, wie Glutaminsäure, Hydroxyglutaminsäure und Asparaginsäure. Eine besondere Erwähnung verdient das Arginin, ein Amidinderivat des Ornithins. Es ist dies ein Baustein, welcher bisher bei keinem Proteinstoff vermißt worden ist.

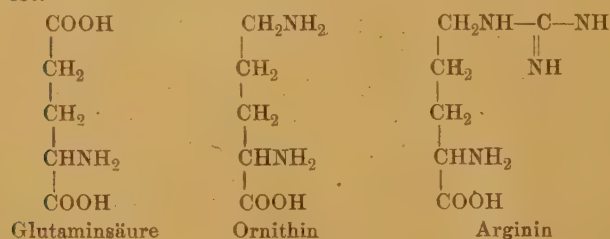


Fig. 4.

Bis heute ist es gelungen, ungefähr 19 verschiedene Aminosäuren als Bestandteile des Proteinmoleküls zu erkennen. Durch ihre Kombination kann eine alle Vorstellung übersteigende Mannigfaltigkeit von Eiweißkörpern entstehen. Ihre Verschiedenheit ist zum Teil durch die Auswahl der zum Bau des Moleküls verwendeten Bausteine, zum Teil durch ihre Anordnung im Molekül bedingt.

Von einer Aufklärung der Konstitution der typischen komplizierten Proteinstoffe sind wir noch weit entfernt, aber wenn es unserer Generation auch nicht gelungen ist, zu einem wissenschaftlich begründeten System der Eiweißkörper zu gelangen und ein Formelbild der typischen

Proteine zu erhalten, so dürfen wir doch behaupten, daß die ersten Schritte auf diesem Gebiete genügt haben, um der Physiologie der Ernährung und des Stoffwechsels eine neue Gestaltung zu geben.

Eine Voraussetzung für die Erkenntnis der chemischen Natur der Proteine ist die Feststellung der Art und der Menge ihrer Bausteine. Ich möchte an einem Beispiel zeigen, wie weit man in der Lösung dieser Aufgabe gekommen ist.

#### Hydrolyse der Gelatine (H. D. Dakin).

|                |      |
|----------------|------|
| Glycocoll      | 25,5 |
| Alanin         | 8,7  |
| Leucin         | 7,1  |
| Serin          | 0,4  |
| Phenylalanin   | 1,4  |
| Tyrosin        | 0,01 |
| Prolin         | 9,5  |
| Hydroxyprolin  | 14,1 |
| Asparaginsäure | 3,4  |
| Glutaminsäure  | 5,8  |
| Histidin       | 0,9  |
| Arginin        | 8,2  |
| Lysin          | 5,9  |
| Ammoniak       | 0,4  |

91,31

Fig. 5.

Diese Tabelle stellt die Aufteilung der Gelatine dar, wie sie durch die Untersuchungen von H. D. Dakin erreicht worden ist. Die Zahlen geben die Gewichtsmengen der Spaltungsprodukte, welche aus 100 g Gelatine gewonnen worden sind. Bei dieser Analyse, die mit allen heute zu Gebote stehenden Mitteln von einem der geschicktesten und erfahrensten Forscher ausgeführt wurde, ist es nicht möglich gewesen, eine vollständige Übersicht über die Zusammensetzung eines typischen komplizierten Proteinstoffes zu gewinnen. Da bei der Bildung der Spaltungsprodukte Wasser aufgenommen wird, so müßten aus 100 g Gelatine nicht 100, sondern etwa 110 bis 120 g der Spaltungsprodukte erhalten werden. In der Tat sind aber bisher nur 91,3 g gewonnen worden.

Noch unvollkommener ist unser Wissen über die Anordnung der Bausteine im Proteinmolekül. Um diese zu erfahren, hat man die künstliche Zerlegung der Proteinstoffe so geleitet, daß nicht die Endprodukte, sondern Zwischenprodukte des hydrolytischen Zerfalls gebildet werden. Auf diese Weise erhält man Bruchstücke des Eiweißmoleküls, welche noch zwei oder drei Bausteine im ursprünglichen Zusammenhang enthalten. Ihre Zerlegung ergibt dann, welche Bausteine in dem ganzen System miteinander in Verbindung sind. Eine systematische Durchführung dieses Verfahrens, welche über größere Teile des Moleküls komplizierter Proteine eine Übersicht gestattet, ist aber bisher nicht möglich gewesen, weil die scharfe Isolierung der größeren Bruchstücke, der sogenannten „Polypeptide“, auf bedeu-



tende Schwierigkeiten stößt. Daß es aber doch gelungen ist, einzelne wertvolle Befunde auf diesem Gebiete zu erheben, ist wesentlich den Untersuchungen *Emil Fischers* zu danken, dessen synthetische Arbeiten das Feld für diese analytischen Bestrebungen vorbereitet haben.

Eine Umformung der Proteine im tierischen Organismus kann in zweifacher Weise zustande kommen, entweder durch eine Veränderung in der Anordnung der Bausteine oder durch eine Umwandlung der Bausteine selbst. Betrachten wir zunächst die Umwandlungen, welche durch ein *Umrangieren der Bausteine* im Proteinmolekül selbst hervorgerufen werden. Bei dieser Umgruppierung können einzelne Bausteine ganz herausgenommen, andere neu eingefügt werden. So kann beim wachsenden jugendlichen Tier aus dem gleichförmigen Eiweiß der Nahrung, etwa aus den Dotterproteinen, die ganze Mannigfaltigkeit der Gewebsproteine hervorgehen und der Vorgang erscheint uns als eine Umwandlung eines Proteinstoffs in einen anderen. In den meisten Fällen ist dieser Betrieb viel zu verwickelt, als daß der Biochemiker die einzelnen Umformungsvorgänge verfolgen könnte. Das Studium ist nur da möglich, wo ein bestimmter chemischer Vorgang dieser Art sich so scharf aus anderen biochemischen Prozessen hervorhebt und so massig auftritt, daß das Ausgangsprodukt und das Endprodukt in ihrer chemischen Zusammensetzung untersucht und einander gegenübergestellt werden können. Ein solcher Vergleich läßt sich durchführen beim Studium der *Spermatogenese mancher Fische*.

Um eine Vorstellung von dem Wesen dieses Vorganges zu geben, möchte ich zunächst einige Beobachtungen erwähnen, die *Cunningham* am Seeaal (Conger) angestellt hat. Man hat zu wiederholten Malen in Aquarien die Beobachtung gemacht, daß diese sehr gefräßigen Tiere einige Monate vor der Laichreife aufhören zu fressen. Während dieser Hungerperiode, die sich sowohl bei weiblichen, wie bei männlichen Tieren einstellt, wachsen die Ovarien und die Testikel auf Kosten des übrigen Körpers. Hierbei verändert sich die Körperbeschaffenheit, der Körper verfällt gewissermaßen, z. B. sah man, wie die Weibchen fast alle Zähne verloren, die Knochen wurden ganz weich und brüchig und das Körpergewicht nahm ab. Nachdem sie sodann ihre Geschlechtsprodukte, die Eier und das Sperma abgelegt haben, gingen sie regelmäßig an Erschöpfung zugrunde.

Dieser Prozeß, der beim Conger nur einmal stattfindet und das Ende seines Lebens bedeutet, vollzieht sich beim Rheinlachs mehrfach. Schon bevor die Beobachtungen *Cunninghams* am Conger, dem extremsten Fall dieser Art, bekannt waren, war es festgestellt, daß der Rheinlachs fünf bis zehn Monate vor der Laichzeit, d. h. während des Aufenthalts im Süßwasser, hungert.

und *Miescher* hatte durch sorgfältige, planmäßig durchgeführte Wägungen gefunden, daß es die Muskulatur ist, welche das Material für die wachsenden Keimdrüsen liefert, daß ferner während dieser Zeit in den Testikeln ein Salz der Nucleinsäure mit einer von *Miescher* entdeckten Base, dem Protamin des Lachses oder „Salmin“, abgelagert wird. Später führten mich meine Untersuchungen zu dem Schluß, daß dies Protamin des Lachses eine Substanz von eiweißartiger Natur ist und daß sie als der einfachste Eiweißkörper angesehen werden muß. Während in den typischen Proteinstoffen des Muskels gegen 20 Arten von Bausteinen aufgefunden werden, treten hier nur 4, nämlich Arginin, Valin, Prolin und Alanin auf, und das Arginin überwiegt an Menge so sehr, daß fast  $\frac{9}{10}$  des ganzen Stickstoffs vom Lachs-Protamin in Form dieser Base vorhanden sind. Es erhebt sich nun die Frage, in welcher Weise findet die Bildung des argininreichen Protamins statt? Geht hier etwa eine Synthese des Arginins vor sich oder genügt der Arginingehalt des während der Hungerperiode aufgebrauchten Muskeleiweißes, um die ganze im Protamin der Testikel abgelagerte Argininmenge zu liefern? Dr. *Weiß* stellte im Heidelberger physiologischen Institut durch Argininbestimmungen im Muskelgewebe des Lachses fest, daß dies letztere in der Tat der Fall ist. Wir haben hiernach anzunehmen, daß vorwiegend der stickstoffärmere Teil des Eiweißmoleküls für die Lebensprozesse des Fisches während der Hungerperiode verbraucht worden ist. Die Monoamino-säuren, welche im ursprünglichen Muskeleiweiß 74 % des gesamten Stickstoffs ausmachen, sind im Lachs-Protamin bis auf 10 % des Stickstoffs herabgemindert, selbst die stickstoffreicheren Anteile, das Lysin und das Histidin, sind nicht mehr vorhanden, nur eine Gruppe, die stickstoffreichste von allen: das Arginin, ist vollständig erhalten. An die Stelle des fast neutralen Muskelproteins ist ein stark basischer Eiweißstoff getreten, und diese basischen Eigenschaften sind — wie ich aus verschiedenen Beobachtungen schließe — darauf zurückzuführen, daß die Amidgruppe des Arginins an der Peptidverketung nicht beteiligt und in freiem reaktionsfähigem Zustand erhalten ist.

Da das Muskeleiweiß des Lachses in seiner Zusammensetzung nicht genügend bekannt ist, habe ich als Beispiel für einen komplizierteren Eiweißstoff die Gelatine gewählt. Der Flächeninhalt der Kreissegmente entspricht der Menge einzelner Proteinbausteine nach den oben mitgeteilten Analysen von *H. D. Dakin* unter der annähernd zutreffenden Annahme, daß bei der Hydrolyse von 100 Gewichtsteilen dieses Eiweißkörpers 15 Gewichtsteile Wasser aufgenommen werden. Gleiche Bausteine sind an den drei Kreisen mit gleichen Zahlen angegeben, der unbekannte Teil des Moleküls ist schwarz. Die Bedeutung der Zahlen ist unter der Figur angegeben. Bei der

Vergleichung des Salmins mit der Gelatine erkennt man die bedeutende relative Zunahme des Arginins, das Schwinden des Monoaminosäureanteils und die Vereinfachung des ganzen Molekülbaus. Berechnet man auf Grund dieser Gewichtsprozente das Molekülverhältnis zwischen den Bausteinen, so findet man, daß auf 2 Moleküle des basischen Arginins je 1 Molekül der neutralen Monoamidosäuren entfallen.

Ich habe nun im Anschluß an diese Untersuchungen über den Rheinlachs die männlichen Geschlechtsprodukte anderer Fische, bei denen eine solche Hungerperiode und eine solche Ver-

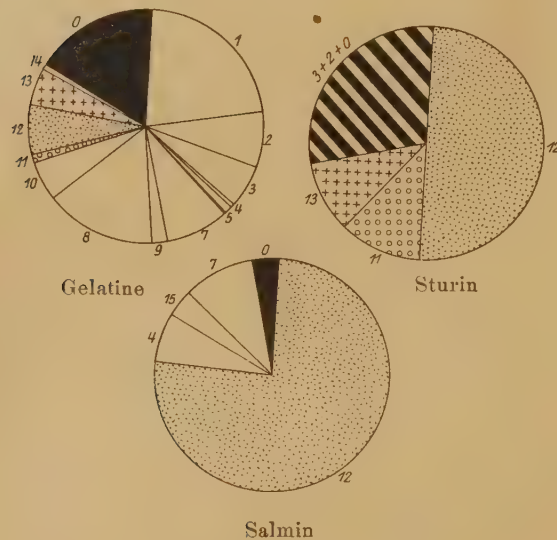
bisher erwähnten Körper als Protamine des Salmin-typus bezeichnen, in ihnen ist neben wenigen Monoaminosäuren als einziger basischer Bestandteil das Arginin vorhanden. Andere Typen der Protamine finden sich beim Stör, beim Karpfen, beim Barsch und bei zahlreichen anderen Fischen.

In obigem Schema ist auch die Zusammensetzung des Protamins aus dem Störsperma, das „Sturin“, dargestellt. Die Monoaminosäuren des Sturins konnten wegen des mangelnden Materials noch nicht genauer untersucht werden, wir wissen nur, daß Alanin und ein Körper von der Zusammensetzung des Leucins darin vorhanden ist, und wir kennen bis jetzt nur den Gesamtstickstoff der Monoaminosäuren, nicht ihre Mengenverhältnisse im einzelnen. Wohl aber liegt eine Analyse der basischen Stoffe vor. Denken wir nun auch dieses Protamin, das Sturin, durch eine Herausnahme gewisser Bausteine aus dem ganzen komplizierten Eiweißkörper entstanden, so kommen wir zu der Vorstellung, daß in diesem Fall bei der Herausnahme der Bausteine nicht nur das Arginin, sondern auch andere basische Bestandteile, nämlich Histidin und Lysin übriggeblieben sind. Berechnen wir aber das Molekülverhältnis, so zeigt sich, daß die Summe der Basen Arginin + Histidin + Lysin zur Summe der Monoaminosäuren sich verhält wie 2 : 1. — Hier zeigt sich also dasselbe Verhältnis, welches bei den Protaminen vom Salmintypus obwaltet.

Dieses Zahlenverhältnis berechtigt zu der Erwartung, daß die Konstitutionsforschung, welche bei den typischen Proteinstoffen auf so große Schwierigkeiten stößt, bei diesen einfacher gebauten Körpern bessere Erfolge erzielen wird. Wir haben daher einige Protamine vom Salmin-typus der gemäßigten Hydrolyse unterworfen und da hat sich gezeigt, daß auch die größeren Bruchstücke des Salmins und Clupeins nach dem Verhältnis 2 Mol. Arginin zu 1 Mol. Monoaminosäure zusammengesetzt sind. Das Salminmolekül ist also ganz gleichmäßig gegliedert, die Bausteine liegen in regelmäßiger Abwechselung nebeneinander.

Nun vollzieht sich dieser Umformungsprozeß aber nicht bei allen Fischen nach dem gleichen Schema. Wir kennen Protamine, bei deren Bildung ein größerer Teil der Monoaminosäuren zurückgeblieben ist, so daß das Molekularverhältnis des Arginins zu den Monoaminosäuren wie 1 : 2 ist, und bei anderen Fischen, deren Untersuchung wegen der schwierigen Beschaffung des Materials noch nicht durchgeführt werden konnte, sind Protamine ganz anderer Zusammensetzung vorhanden.

Diesen Protaminen steht nun bei den dorschartigen Fischen, den Gadiden, eine ganz andere Art basischer Proteine gegenüber. Bei diesen bleibt die Umformung der ursprünglichen Proteine auf der ersten Stufe stehen, und diese Produkte, deren Bildung den ersten Schritt in der



Dieses Schema soll den Unterschied im Bau der einfacheren und der komplizierteren Proteine erläutern.

änderung der Lebensweise nicht bekannt ist, analysiert und zunächst bei anderen Salmoniden ganz die gleichen chemischen Verhältnisse vorgefunden. Aber auch andere im System entfernte Fische, z. B. der Hecht und der Hering, die Makrele und der Thunfisch bilden Protamine von ähnlicher, wenn auch nicht ganz gleicher Konstitution. Beim Protamin des Thunfisches findet sich z. B. eine Monoamidosäure, welche in den Protaminen der eben erwähnten Fische nicht vorkommt, das Tyrosin. Aber auch in diesen Fällen ist das molekulare Verhältnis zwischen Arginin und Monoamidosäuren gleich zwei zu eins. Die Protamine dieser Fische zeigen ganz ähnliche äußere Eigenschaften wie die der Salmoniden. Viel größer ist aber die Abweichung bei anderen Spezies und Genera. Man kann die



Umformungsreihe bedeutet, sind die Histone. Die Histone erscheinen an demselben Ort, wo bei den eben erwähnten Arten die Protamine auftreten, im Spermakopf, sie sind offenbar für die gleiche Verrichtung bestimmt und sind auch in gleicher Weise an die Nucleinsäure angefügt. Sie haben zwar die Vielgestaltigkeit des Proteinmoleküls noch bewahrt, sie unterscheiden sich aber von den typischen Proteinstoffen durch ihre basischen Eigenschaften. Diese letzteren sind zum Teil bedingt durch die Menge der basischen Bausteine, zum Teil aber auch durch die Anordnung derselben im Molekül. So wird es verständlich, daß manche Eiweißkörper des Pflanzenreichs ebensoviel basische Bausteine enthalten wie bestimmte Histone, ohne doch deren basischen Charakter zu besitzen. Offenbar ist die Stellung der Amino- gruppen im Molekül der Histone eine solche, daß ein erheblicher Teil derselben nicht durch die Peptidverkettung in Anspruch genommen ist, sondern in freiem Zustand zur Geltung kommt.

Diese Umformungsvorgänge würden nur ein spezielles Interesse in Anspruch nehmen, wenn sie auf einen besonderen Kreis von Organismen, auf die Spermatogenese bei Fischen, beschränkt wären. Die weitere Verfolgung dieser Erscheinungen zeigt uns nun, daß sie mit Entwicklungsvorgängen an einem Grundorgan der Zelle, dem Zellkern, zusammenhängen.

Die Endprodukte dieser Entwicklungsreihe, die Protamine, sind zwar bisher an keiner anderen Stelle aufgefunden worden als in den Köpfen der Fischspermien, aber die Fähigkeit, eine Umbildung der Proteinstoffe in dieser Richtung einzuleiten, ist dem tierischen Organismus im allgemeinen eigen, denn die Histone, die Anfangsglieder der Reihe, sind im Tierreich weit verbreitet. Wo ihr Ort im Gewebe überhaupt mit Sicherheit festgestellt werden konnte, haben sie sich bisher stets im Zellkern gezeigt, auch die Köpfe der Fischspermien sind ja Kerngebilde. Ebenso wie dort sind sie bisher stets in Verbindung mit Nucleinsäure gefunden worden. Es ist anzunehmen, daß die Anfügung dieser Säure, welche doch zunächst die basischen Gruppen des Proteinmoleküls erfassen muß, für den Verlauf der Umformungen maßgebend ist, indem sie die angefügten basischen Gruppen vor einer Zersetzung durch die Stoffwechselvorgänge schützt.

Aber die Bildung der Histone ist doch nicht in jedem Zellkern nachgewiesen. In chemischer Hinsicht haben wir zwei Formen der tierischen Zellkerne zu unterscheiden. Die erste Form findet sich in den Spermien der Säuger und Vögel und in den Kernen vieler Gewebszellen. Hier ist eine Substanz von den Eigenschaften einer Nucleinsäure ziemlich fest mit einem Proteinstoff zu einem Produkt vereinigt, dem Nucleoproteid, welches schwach ausgeprägte saure Eigenschaften besitzt. Bisher ist es nicht gelungen, diese beiden Bestandteile ohne Zersetzung voneinander zu trennen, aus diesem

Grunde fehlt auch noch eine Vorstellung über die Eigenschaften und die Zusammensetzung des darin enthaltenen Proteinstoffs. Die zweite Form ist in den Spermienköpfen der Fische und mancher Wirbellosen, auch gewisser Amphibien zu finden, sie ist ferner in den Kernen der Vogelblut-Erythrocyten und in drüsigen Organen, vor allem in der Thymusdrüse, enthalten und fehlt, wie es scheint, im Pflanzenreich. Aus solchen Kernen läßt sich das Eiweiß als „Protamin“ oder „Histon“ leicht durch stärkere Säuren herauslösen. Die Verbindung mit der Nucleinsäure trägt hier einen salzartigen Charakter.

Ich habe vorgeschlagen, diese zweite Form des Zellkerns als „dissoziierte“ Kernsubstanz von den ersteren zu unterscheiden. Die Beziehung der beiden Formen zu physiologischen, pathologischen und entwicklungsgeschichtlichen Vorgängen ist noch unbekannt, doch ist es höchst wahrscheinlich, daß die dissoziierte Form durch eine Umbildung in der eben erwähnten Richtung entsteht.

Die Histone bilden eine sehr formenreiche Gruppe. Bei ihrer Bildung fällt bald dieser, bald jener Baustein aus dem Inhalt des ursprünglichen Proteinstoffs heraus, immer aber betrifft dieser Ausfall die Monoaminosäuren.

Ich habe die Bildung der Histone und Protamine als Beispiel für diese ganze Gruppe von Umbildungsvorgängen gewählt, weil sie die bestbekannte Reihe solcher Erscheinungen ist. Selbstverständlich kann eine Umformung der Proteine auch in entgegengesetzter Richtung verlaufen, z. B. treten bei der Bildung der elastischen Fasern die Monoaminosäuren in den Vordergrund und der Gehalt des Eiweißmoleküls an Arginin sinkt auf ein Minimum herab. Daß Umformungen dieser Art in unabsehbarer Mannigfaltigkeit vor sich gehen müssen, zeigt sich besonders deutlich, wenn man sich die Entwicklung des Hühnchens im Ei vorstellt. Schon die Bildung der ersten kernhaltigen Blutkörperchen setzt eine Umformung der Dotterproteine in dem eben bezeichneten Sinne — eine Entstehung von Histon — voraus.

In welcher Weise diese Umformungen vor sich gehen, ob das ursprüngliche Eiweiß zunächst vollständig in seine Bausteine zerfällt, so daß der nun entstehende Proteinstoff aus einem Teil derselben wieder zusammengefügt werden muß oder ob die Umwandlung in der Weise erfolgt, daß größere Bruchstücke des Moleküls in ihrem ursprünglichen Gefüge in das neu entstehende System hinübergenommen werden, läßt sich heute nicht entscheiden. In anderem Zusammenhang werde ich diese Frage gleich noch einmal berühren müssen.

Die Kuppelung zwischen den einzelnen Bausteinen der Proteine ist so beschaffen, daß sie durch die hydrolysierenden Wirkungen gewisser Enzyme leicht gelöst, aber durch den umge-

kehrten Prozeß auch leicht wieder geknüpft werden kann. Die Bruchstücke, welche auf diese Weise aus dem Eiweiß losgelöst werden, erscheinen unter Umständen als selbständige Einheiten in den Geweben, besonders findet man in keimenden Pflanzen einen großen Teil der in obigen Tabellen angeführten Spaltprodukte als Baumaterial für die junge Pflanze vor. Andererseits können aber auch diese losgelösten Bausteine in eine neue Funktion eintreten, indem sie an neue Atomgruppen angefügt werden, wie das Glykokoll an die Cholsäure oder an die Benzoësäure oder wie das Cystein an körperfremde Benzolderivate. So entsteht der Giftstoff der Kröte, das Bufotoxin, wie *Heinrich Wieland* kürzlich fand, durch die Anfügung des Arginins an das Bufotalin. Eine von *Hopkins* neuerdings ausgeführte Untersuchung zeigte, daß der Organismus durch Abspaltung eines Dipeptids aus dem Protein ein Reagens bildet, welches die physiologische Oxydation vermittelt. *Hopkins* fand in tierischen und pflanzlichen Zellen in allgemeiner Verbreitung eine peptidartige Verbindung von vier Proteinbausteinen — zwei Molekülen Glutaminsäure und zwei Molekülen Cystein. Es sind mehrere Möglichkeiten für die Art der Vereinigung dieser Atomgruppen vorhanden, von denen eine durch die folgende Formel dargestellt wird:

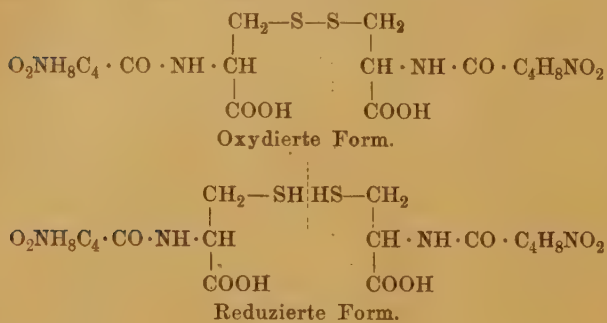


Fig. 7.

Die physiologische Bedeutung dieses Eiweißderivats beruht darauf, daß es Wasserstoff aufnehmen und den aufgenommenen Wasserstoff wieder an andere Stoffe übertragen kann. Die Atomgruppe, an welche sich diese Funktion knüpft, ist die Disulfidgruppe (S—S), welche durch Anlagerung von Wasserstoff unter Spaltung des Doppelmoleküls in die Sulfhydrylgruppe (SH) übergeht und somit anderen Körpern Wasserstoff entzieht, was einer Oxydation derselben gleichkommt. Die Sulfhydrylgruppe wird aber durch Einwirkung von Sauerstoff leicht wieder in das Disulfid zurückverwandelt und der Vorgang beginnt von neuem. Nach den Erfahrungen von *Hopkins* kann das Glutathion vermöge dieses Vorganges die Oxydation in den lebenden Geweben beschleunigen, also die Rolle eines Katalysators spielen.

Wir haben bisher das Eiweißmolekül wie ein Mosaikbild betrachtet, dessen Steine bei der Umformung im Organismus umgestellt oder auch, wie beim Glutathion, herausgenommen werden können, um eine neue Funktion zu übernehmen. Hierbei bleiben die Bausteine in ihrer chemischen Beschaffenheit unverändert. Viel tiefgreifender ist eine zweite Art von Umwandlungen, bei welchen die Bausteine selbst einer Umformung unterliegen. Eine solche kann schon erfolgen, während die Bestandteile noch in dem ganzen Proteinmolekül verankert sind. Ein Beispiel dafür bietet sich in dem Achsenskelett der Edelkorallen. Die Korallen nehmen aus dem Meerwasser Jod auf. Wenn man nun den Proteinstoff aus diesem Achsenskelett darstellt, so findet man ihn jodhaltig, und wenn man ihn durch Hydrolyse in seine Bausteine zerlegt, so sieht man, daß einer der Bausteine, das Tyrosin, durch Einlagerung von Jod in den Benzolring umgewandelt ist. Man wird durch diesen Befund an die Umwandlung erinnert, welche — wie *Baumann* zuerst fand — die Eiweißkörper der Schilddrüse unter dem Einfluß jodhaltiger Nahrungsmittel erleiden. Hier ist es nach *Kendall* nicht das Tyrosin, sondern ein anderer Baustein des Proteins, das Tryptophan, welches das Jod abfängt — auch mit Hilfe des in ihm enthaltenen Benzolrings — und welches dann in freiem Zustand als Thyroxin im Gewebe erscheinen kann.

Hier tritt nun auch die physiologische Bedeutung dieses Prozesses deutlich hervor. Die jodhaltigen, in der Schilddrüse entstandenen Umformungsprodukte finden als Hormone Verwendung. In ähnlicher Weise scheint ein anderes Hormon, das Adrenalin, aus dem Tyrosin hervorzugehen. In beiden Fällen ist der Ursprung der Hormone aus den Eiweißbausteinen nicht scharf bewiesen, sondern nur aus der Vergleichen der Formeln gefolgert, vom Tryptophan und Thyroxin in dem einen Fall, vom Tyrosin und Adrenalin im andern Fall erschlossen worden. Das Thyroxin enthält eine Atomgruppierung, welche der im Tryptophan vorhandenen sehr ähnlich ist, und ebenso verhält es sich beim Tyrosin und Adrenalin. Die Ähnlichkeit im Bau ist eine so bedeutende, daß man den Gedanken an einen genetischen Zusammenhang nicht abweisen kann. Ebenso wahrscheinlich ist es, daß das Arginin in Kreatin, das Histidin in Histamin übergeführt wird, welches nach neueren Untersuchungen von dem Hirnanhang als Hormon gebildet werden soll. Das Cystin, welches ich eben als Bestandteil des Glutathions in seiner Eigenschaft als Katalysator erwähnt habe, kann nach den Untersuchungen von *Bergmann* durch physiologische Oxydation in Taurin umgewandelt werden, und dies konnten wir in einzelnen wirbellosen Meerestieren in so großer Menge nachweisen, daß es wohl imstande ist, zur Aufrechterhaltung des osmotischen Drucks in der Gewebsflüssigkeit wesentlich beizutragen. Andererseits



tritt derselbe Stoff in höheren Organismen als Bestandteil gewisser Gallensäuren auf.

In allen diesen Fällen handelt es sich um kleinere Bruchstücke, welche aus dem Protein abgespalten werden. Vor oder nach dieser Abspaltung erleiden diese Gruppen eine chemische Umwandlung. Früher nahm man allgemein an, daß die Bildung dieser Produkte unter gleichzeitiger Auflösung ihrer Muttersubstanz — des Proteinstoffs — erfolge. Neuerdings hat jedoch *K. Thomas* darauf hingewiesen, daß dasjenige Eiweiß, welches Bestandteil der Organe geworden ist, sich im Stoffwechsel anders verhält wie das Nahrungseiweiß. Aus dem „Organeiweiß“ kann ein Teil der Gruppen herausgelöst werden, ohne daß es völlig zerfällt, nur einzelne Bausteine sollen bei der Bereitung der Hormone und anderer spezifischer Produkte abgesondert werden. Auch rein chemische Beobachtungen könnte man zugunsten einer derartigen Annahme anführen; z. B. beobachtete ich in Gemeinschaft mit *H. D. Dakin*, daß aus gewissen Proteinen ein Teil des in ihnen als Amidgruppe enthaltenen Harnstoffs hergegeben werden kann, ohne daß sie einen weitgehenden Zerfall erleiden.

Diese Verarbeitung der Proteinstoffe, welche die verschiedensten Lebensfunktionen von der Gegenwart der Proteine und ihrer Umwandlungsprodukte abhängig macht, erklärt uns ihre Unentbehrlichkeit als Bestandteile der Nahrung.

*Friedrich von Müller* hat dies vor kurzem überzeugend hervorgehoben und damit den richtigen Weg gewiesen zur *Erklärung des Eiweißminimums*. Diejenigen Atomgruppen des Proteinmoleküls, durch deren Umwandlung die Werkzeuge für lebenswichtige Funktionen geschaffen werden, müssen in hinreichender Menge in der Nahrung enthalten sein. Deshalb ist eine gewisse Menge von Eiweiß — das Eiweißminimum — unentbehrlich. Nach den Untersuchungen von *K. Thomas* und denen der Müllerschen Schule beträgt dieses Minimum für den erwachsenen Menschen ungefähr 22–30 Gramm in 24 Stunden. Wir dürfen dieses Minimum — nach den Worten *F. von Müllers* — nicht als einen aliquoten Teil des Gesamtstoffumsatzes auffassen, wir können es nur vom Gesichtspunkt des *stofflichen* Bedürfnisses verstehen.

Die Forschungen über die chemischen Bestandteile der Gewebe können von zwei Gedankenrichtungen geleitet werden, der physiologischen und der entwicklungsgeschichtlichen. Die erste fragt nach der Funktion der Stoffe, nach ihrer Beteiligung an den lebenswichtigen Reaktionen. Dieser Gesichtspunkt ist bei den bisherigen Untersuchungen fast immer der allein maßgebende gewesen. Und doch gewinnen wir eine tiefere Einsicht in das Wesen dieser Erscheinungen erst dadurch, daß wir den Ursprung der chemischen Bildungen verfolgen. Mit der weiteren Ausgestaltung der Lebensvorgänge in den höheren Organismen wächst die Mannigfaltigkeit der

chemischen Hilfsmittel. Diese neuen Werkzeuge werden aber *nicht* von Grund aus durch eine Synthese, durch den direkten Zusammentritt der Elemente aufgebaut, sondern ihre Bildung vollzieht sich langsam durch Umformung ererbter chemischer Gebilde, in erster Linie der Protein-  
stoffe.

## Die astronomische Festlegung des Trägheitssystems<sup>1)</sup>.

Von *J. Bauschinger*, Leipzig.

Ich folge dem Wunsche befreundeter Physiker, wenn ich es als Astronom unternehme, Rechenschaft abzulegen über das letzte Bezugssystem im Raum, das den Untersuchungen über die Bewegungen in der Natur zugrunde gelegt werden kann, d. h. über dasjenige System, in dem die Gesetze der Bewegung die einfachste Gestalt annehmen. Die neue Physik ist aus dem engen Raum des Laboratoriums herausgetreten und experimentiert im Weltraum, und schon wird das Bedürfnis empfunden und befriedigt, den physikalischen Anstalten Sternwarten anzugliedern, um besondere physikalische Fragen zu behandeln; unsere heutige Aufgabe aber, die Festlegung des Trägheitssystems, bedarf fast des gesamten Beobachtungsschatzes seit 170 Jahren von allen Sternwarten der Erde, und bleibt daher dem Astronomen. Es liegt in der Natur der Sache, daß ich fast nur dem Astronomen Bekanntes vorbringen kann, möchte aber doch besonders hervorheben, daß die neueste Darstellung des verwickelten Problems über die fast gefühlsmäßige Benutzung hinaus den Herren *Anding* und *Seeliger* zu verdanken ist. — Daß im Betriebe der physikalischen Wissenschaften gerade der Astronomie die Aufgabe zugefallen ist, das Inertialsystem aufzustellen, ist *erstens* damit begründet, daß diese bis an die Grenzen des Wahrnehmbaren vordringt und somit den ganzen Bereich der uns zugänglichen Bewegungen umspannt. Denn der Wahn der absoluten Bewegung ist überwunden, die *Vergleichung* der Bewegungen, die allein Gegenstand der Forschung sein kann, führt notwendig auf ein letztes System, das man *annehmen* und genau *definieren* muß, in bezug auf welches man alle Bewegungen bestimmt und zusieht, wie weit man damit kommt; und die praktische Durchführung dieses Gedankens gelangt schließlich in die äußersten Fernen, wo Körper noch wahrnehmbar, ihre Bewegungen aber infolge der weiten Entfernung für uns nicht mehr feststellbar sind, d. h. an die äußeren Grenzen der *Fixsternwelt*; darüber hinaus sind Fragen für die Naturforschung nicht vorhanden. Der *zweite* Grund für die ausschlaggebende Stellung der Astronomie in dieser Aufgabe liegt darin, daß diese die Auswirkung eines hypothetischen Ge-

<sup>1)</sup> Vortrag, gehalten auf der Naturforscherversammlung am 22. September 1922.

setzes, durch das ein Inertialsystem definiert ist, im Rahmen des *Sonnensystems* bis in die feinsten Einzelheiten verfolgen kann und dadurch in die Lage kommt, ein Inertialsystem wenigstens *in Verbindung mit einem bestimmten Gesetz* festzulegen.

Damit ist schon angedeutet, daß wir zwei Wege haben, uns ein Inertialsystem zu verschaffen, einen durch die Fixsterne, den *empirischen*, und einen durch das Sonnensystem, den *dynamischen*. Die praktische Ausführung erfordert das Ineinandergreifen beider Wege, aber schließlich führt jeder zu einem besonderen Resultat, und die Vergleichung gestattet die Prüfung der Grundlagen.

Der *empirische Weg* durch die Fixsterne geht aus von der Einführung des von der Beobachtung verlangten Koordinatensystems des Äquators, dargeboten durch die Erdrotation, und Bestimmung des Anfangspunktes durch den Schnitt mit der Erdbahn, der Ekliptik. Wären die dadurch bestimmten größten Kreise an der Sphäre fest und könnten wir sichtbare Fixpunkte zu ihrer Festlagerung angeben, so wäre die Aufgabe gelöst; aber weder das eine noch das andere ist der Fall, und so entstehen die Schwierigkeiten, die nur durch Hypothesen überwunden werden können. Die Erdbahn unterliegt einer gleichmäßigen Bewegung, deren Geschwindigkeit von den Massen der Planeten abhängt, aber diese ist so klein — etwa 13" im Jahrhundert, im Äquator gemessen —, daß eine rohe Kenntnis der Massen genügt, sie theoretisch zu bestimmen; da man die Massen anderweitig genau bestimmen kann, wird diese Bewegung und damit die *Ekliptik* dynamisch festgelegt. Dagegen ist die Bewegung des *Schnittpunktes des Äquators mit der Ekliptik* zwar ebenfalls gleichmäßig, aber ziemlich bedeutend — etwa 5000" im Jahrhundert — der eigentlichen Präzession — und kann mit genügender Genauigkeit nicht theoretisch bestimmt werden. (Denn sie hängt von den Trägheitsmomenten des Erdsphäroids ab, deren Ermittlung anderweitig mit ausreichender Genauigkeit nicht möglich ist, sondern die gerade umgekehrt aus der Präzession bestimmt werden müssen.) Es muß also die Präzessionskonstante empirisch bestimmt werden, was zu den schwierigsten Aufgaben der Astronomie gehört. Es muß durch Sonnenbeobachtungen (zur Zeit der Äquinoktien) der Schnittpunkt der Sonnenbahn mit dem Äquator ermittelt und seine Lage gegen den zunächst als unveränderlich angenommenen Fixsternhimmel fixiert werden; wird dies zu verschiedenen Epochen wiederholt, so ergibt sich daraus die Präzessionskonstante. Dieser Weg hat den praktischen Nachteil, daß er auf den stets nur unsicher ausführbaren Sonnenbeobachtungen beruht, und den theoretischen, daß er die Unveränderlichkeit des Fixsternhimmels voraussetzt. — Man hilft sich auf folgende Weise. Unter

vorläufiger Ausschaltung der Sonnenbeobachtungen werden mit Benutzung einer angenommenen provisorischen Präzessionskonstante alle Fixsternbeobachtungen der verschiedenen Epochen auf das Koordinatensystem einer bestimmten festen Epoche gebracht. Wären jetzt die Orte der Sterne alle an der Sphäre unveränderlich, so wäre das Inertialsystem gegeben und definiert durch das System der benutzten Sterne. Das ist aber nun nicht der Fall, sondern die Mehrzahl der hier mitsprechenden Sterne weist eine lineare Bewegung gegen das System auf, deren Herkunft untersucht werden muß. Außer einer konstanten, jedenfalls sehr kleinen Korrektur der Anfangsrichtung des Systems, des Äquinoktiums, wird man *erstens* annehmen müssen, daß eine Drehung des Koordinatensystems vorhanden ist, oder aber daß der ganze Fixsternkomplex eine Drehungsbewegung gegen das Sonnensystem ausführt. Das letztere ist unwahrscheinlich, wir kommen darauf später zurück; die Drehung des Systems selbst wird jedenfalls zum Teil durch eine Korrektur der angenommenen Präzessionskonstante erklärt werden müssen, und die Frage ist nur, ob und wie sie aus dem Gewirr der Sternbewegungen herausgelöst werden kann. Das wird sich aus den später anzugebenden Formeln leicht herauslesen lassen. *Zweitens* wird man annehmen müssen, daß eine fortschreitende Bewegung unseres Beobachtungsortes, des Sonnensystems, durch den Raum eine scheinbare, parallaktische, Bewegung der Sterne hervorruft, falls diese nahe genug sind, um sie erkennen zu lassen. Die Trennung dieser Bewegung setzt eine Kenntnis der Entfernung der Sterne voraus, und da uns diese für die Mehrzahl versagt ist, so verlangt sie die Einführung einer Hypothese, auf die wir gleich zu sprechen kommen. *Drittens* endlich wird man den einzelnen Sternen eine ihnen eigene, die sogenannte Pekuliarbewegung, zuschreiben müssen, über die von vornherein nichts bekannt ist, die man also ebenfalls nur durch eine Hypothese berücksichtigen kann.

Die drei Hypothesen, die man machen muß, um das Problem lösen zu können und mit denen die erhaltenen Resultate stehen und fallen, sind folgende:

1. Die Drehungskomponenten und damit die Präzessionskonstante können nur unter der Bedingung abgeleitet werden, daß dadurch die übrigbleibenden Bewegungen der Sterne in ihrer Summe auf das geringste Maß zurückgeführt werden. Mit dieser Bedingung hat die dynamische Definition der Präzessionskonstante (zusammenhängend mit den Trägheitsmomenten des Erdkörpers) nicht das geringste zu tun, aber sie gestattet eine einwandfreie mathematische Behandlung der Bedingungsgleichungen durch die Methode der kleinsten Quadrate.

2. Die Sterne befinden sich nach allen Richtungen in derselben Entfernung vom Sonnen-



system. Da es unmöglich ist, daß dieses für die einzelnen Sterne auch nur näherungsweise zutrifft, muß man sehr viele Sterne benutzen und sie in Gruppen zusammenfassen, d. h. die Mittel aus deren Bewegungen bilden. Für diese fingierten Sterne kann dann allenfalls eine gleiche Entfernung als plausibel hingestellt werden, und man erhält dann ausgedrückt in dieser Entfernung Richtung und Betrag der Sonnenbewegung im Raum, d. h. den Apex und die relative Geschwindigkeit der Sonne gegen den benutzten Fixsternkomplex.

3. Wenn diese beiden systematischen Bewegungen von den allgemeinen abgelöst sind, dann müssen völlig regellose Bewegungen übrig bleiben, denn sonst sind die Voraussetzungen der Methode der kleinsten Quadrate nicht erfüllt. So sehr diese Bedingung durch die Bildung der fingierten Sterne gewährleistet erscheint, so sind doch auch merkwürdige Sternströmungen am Himmel festgestellt worden, welche dem regellosen Charakter der Pekuliarbewegungen widersprechen. Es bleibt nichts übrig, als diese Sterne aus der allgemeinen Untersuchung auszuschließen.

Die Gleichungen für die Darstellung der Sternbewegungen durch Rotation und Translation des Koordinatensystems sind:

$$\begin{aligned}\cos \delta \Delta \alpha &= -p \cos \alpha \sin \delta - q \sin \alpha \sin \delta + s \cos \delta \\ &\quad + \frac{u}{q} \sin \alpha - \frac{v}{q} \cos \alpha \\ \Delta \delta &= +p \sin \alpha - q \cos \alpha \\ &\quad + \frac{u}{q} \cos \alpha \sin \delta + \frac{v}{q} \sin \alpha \sin \delta - \frac{w}{q} \cos \delta \\ \Delta q &= -\frac{u}{q} \cos \alpha \cos \delta - \frac{v}{q} \sin \alpha \cos \delta - \frac{w}{q} \sin \delta\end{aligned}$$

$\alpha, \delta$  Koordinaten des Sternes,  $q$  seine Entfernung,  $p, q, s$  Geschwindigkeiten der Drehungskomponenten,

$u, v, w$  Geschwindigkeiten der Apexbewegung.

Links stehen die Beträge, welche unter Benutzung bestimmter Äquinoktien und Deklinationssysteme und einer bestimmten Präzessionskonstante bei der Vergleichung der um hundert Jahre auseinanderliegenden Fixsternörter als 100jährige sogenannte Eigenbewegung (E. B.) übrig bleiben. Durch die Ausdrücke rechts wird eine Deutung derselben gegeben und zwar:

1. durch die Drehungskomponenten des (dynamischen) Inertialsystems um das durch die Sterne bestimmte empirische, wodurch ersteres festgelegt wird. In diesen Komponenten ist aber die Präzessionsbewegung mit enthalten, und es bleibt zu untersuchen, wie weit durch eine Korrektur der Präzessionskonstante die eigentlichen Drehungsbewegungen beeinflusst werden; alle benutzten Sternbewegungen hängen von der Präzessionskonstante ab, und wenn diese stellar oder statistisch bestimmt wird, so wird eigentlich nur der allen Sternen gemeinsame Teil der Bewegung herausgelöst; die Präzessionskonstante

hängt also wesentlich von den benutzten Sternen ab und ein anderer Fixsternkomplex kann zu einem anderen Wert führen. Eine einwandfreie Bestimmung wäre nur durch solche Sterne zu erwarten, welche die wahrscheinlich kleinste E. B. haben, also von sehr weit entfernten Sternen. Diese sind sehr schwach und noch nicht hinreichend beobachtet; man bleibt auf die helleren Sterne angewiesen und muß die Unbestimmtheit der Präzessionskonstante in Kauf nehmen.

2. durch die Apexbewegung des Sonnensystems gegen den Fixsternkomplex; daß eine solche vorhanden ist, ist so viel wie sicher und sie läßt sich auch bei geeigneter Verteilung der Sterne und bei Zulassung obiger Hypothesen mit Sicherheit bestimmen.

Das beste und umfangreichste Material für die Bestimmung der Unbekannten in obigen Gleichungen, also für die Festlegung des empirischen Inertialsystems wird gegenwärtig durch den Bosschen Generalkatalog von rund 6000 Sternen geboten, unter denen sich alle mit freiem Auge sichtbaren befinden. Boss selbst hat daraus, indem er den Himmel in 108 gleiche Flächenstücke mit nahe gleicher Sternenanzahl teilte, die oben geforderten fingierten Sterne gebildet. Deren Bewegungen sind in folgender Rechnung neu bearbeitet. Die Resultate sind:

$$\left. \begin{aligned}p &= +0'',19 & \frac{u}{q} &= +0'',03 & A &= 270^\circ,5 \\ q &= -0,34 & \frac{v}{q} &= -3,18 & D &= +34^\circ,3 \\ s &= -0,37 & \frac{w}{q} &= +2,17 & M &= 3'',85\end{aligned} \right\} \text{Apex}$$

und sind, wie durch verschiedene Proben erhärtet werden konnte, sehr sicher. Die Apexbewegung  $M$  kommt hier nicht in Betracht. Nennt man  $p_A, q_A, s_A$  die eigentlichen Drehungskomponenten des Inertialsystems um das empirische,  $\Delta p$  die Korrektur der Präzessionskonstante, so hat man:

$$\begin{aligned}p &= p_A & &= +0'',19 \\ q &= q_A - \Delta p \sin \varepsilon & &= -0'',34 \\ s &= s_A + \Delta p \cos \varepsilon - \Delta e & &= -0'',37 \\ \varepsilon &= \text{Schiefe der Ekliptik,}\end{aligned}$$

$\Delta e$  = Korrektur der 100jährigen Bewegung des Äquinoktiums auf dem Äquator.

Für das Folgende ist es nützlich, diese Gleichung vom System des Äquators auf das der Ekliptik zu transformieren; man erhält:

$$\begin{aligned}p_E &= +0'',19 \\ -\sin \varepsilon \Delta e + q_E &= -0'',461 \\ \Delta p - \cos \varepsilon \Delta e + s_E &= -0'',204\end{aligned} \quad (\text{A})$$

wo nun  $p_E, q_E, s_E$  die Drehungskomponenten des ekliptikalen Inertialsystems um das empirisch bestimmte vorstellen.

Das ist das Resultat, das man über das empirische Inertialsystem ziehen kann; es gibt seine Festlegung und Bewegung gegen die rund 6000 Sterne eines Kataloges von beobachteten

Fixsternen. Es zeigt, daß  $p_E$ ,  $q_E$ ,  $s_E$  nur im Zusammenhang mit  $\Delta p$  und  $\Delta e$  bestimmt sind, und aus der Sicherheit, daß  $\Delta e$  und  $\Delta p$  sehr klein sind, folgt nur die Kleinheit der Drehungskomponenten, aber nicht ein Zahlenwert.

Wir kommen nun zur zweiten Methode der Festlegung des Inertialsystems, der durch die Bewegungen der Planeten des Sonnensystems.

Schon Newton hat festgestellt, daß unter der Wirkung des Gravitationsgesetzes und bei Ausschluß aller Wirkungen von auswärts im Sonnensystem Ebenen und Richtungen inertial bestimmt werden, wenn die aus den gegenseitigen Störungen hervorgehenden Bewegungen durch Rechnung berücksichtigt werden. Also die Bahnebenen, somit auch ihre gegenseitigen Neigungen und Schnittlinien, ferner die Richtungen nach den Perihelen haben abgesehen von ihren berechenbaren Säkularstörungen feste (mechanisch bestimmte) Inertiallagen und können unmittelbar zu Koordinatensystemen verwendet werden. Insbesondere gilt dies auch für die Bahn der Erde, die Ekliptik, die allgemein als Grundebene des Inertialsystems eingeführt wird, auf deren jeweilige Lage alle Lagen der anderen Planetenbahnen bezogen werden. Könnte man direkt die Beobachtungen auf dieses System beziehen, so wäre das Inertialsystem durch die Koordinaten der Gestirne in ihm festgelegt. Das ist nun aber nicht der Fall, sondern man bedarf zur Beobachtung des Koordinatensystems des Äquators,

die Bestimmung der Anfangsrichtung in der Ekliptik zu erledigen. Man kann dies, wie gleich ausgeführt werden soll, auch mechanisch aus der Planetenbewegung, also inertial zustande bringen, der Weg der Praxis aber war bisher ein anderer; man hat nämlich als diesen Punkt auf der Ekliptik den Schnittpunkt mit dem durch die Präzession bewegten Äquator angenommen, die Präzession selbst aber stellarstatistisch, also empirisch bestimmt. Man mußte dies tun, weil es aussichtslos erschien, die Präzessionskonstante mit der durch die Fixsternbeobachtungen geforderten Genauigkeit aus den Planetenbeobachtungen, die stets wegen des Planetenbildes im Fernrohr mit großen Schwierigkeiten sich abzufinden haben, abzuleiten. Es ist aber offenbar von prinzipieller Wichtigkeit nachzuweisen, daß die empirisch bestimmte Anfangsrichtung nicht im Widerspruch mit der inertial bestimmten stehe. Zu diesem Ende mußte der Unterschied zwischen beiden ermittelt werden, was nach einem Gedanken von Anding folgendermaßen gelingt.

Die Beobachtungen der Säkularbewegungen der Richtungselemente enthalten die empirisch bestimmte Präzession, denn die Einzelbeobachtungen sind an das Fixsternsystem angeschlossen und mit diesem reduziert; die rechnerisch bestimmten selben Größen dagegen sind rein inertial; der Unterschied zwischen beiden ist also gerade die gesuchte Größe. Nach Newcomb sind nun diese Unterschiede folgende:

Unterschiede ( $B-R$ ) der empirisch bestimmten ( $B$ ) und der rein inertial berechneten ( $R$ ) Säkularbewegung der Richtungselemente.

|                              | Merkur               | Venus                | Erde                 | Mars                 |
|------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $e D \pi \dots\dots$         | $+8''.88 \pm 0''.40$ | $-0''.10 \pm 0''.20$ | $+0''.12 \pm 0''.12$ | $+0''.73 \pm 0''.35$ |
| $D i \dots\dots$             | $+0.38 \pm 0.80$     | $+0.44 \pm 0.30$     | —                    | $+0.08 \pm 0.20$     |
| $\sin i d \Theta \dots\dots$ | $+0.23 \pm 0.50$     | $+0.43 \pm 0.08$     | —                    | $-0.17 \pm 0.20$     |

und muß daher dessen Lage gegen die Inertialekliptik festlegen. Das geschieht durch Angabe des Punktes auf dem Äquator, den die Ekliptik trifft, etwa durch seine Rektaszension im Fixsternsystem, und durch die Angabe des Winkels zwischen Ekliptik und Äquator, die Schiefe der Ekliptik  $\epsilon$ . Die Theorie ergibt alle Säkularbewegungen der Richtungselemente als Funktionen der anderweitig bestimmten Massen und der Zeit, bezogen auf das Inertialsystem der Ekliptik. Die Beobachtungen, angestellt im Fixsternsystem des Äquators, werden unter Einführung zweier Korrektionsgrößen  $\Delta \epsilon$  und  $\Delta e$  der eben genannten Stücke auf die Ekliptik transformiert. Die Vergleichung gestattet neben der Bestimmung der übrigen Unbekannten auch die von  $\Delta \epsilon$  und  $\Delta e$  und somit der Lage der Inertialekliptik im Sternsystem.

Es bleibt jetzt noch, um das Inertialsystem aus der Planetentheorie vollständig zu machen,

wobei das Newtonsche Gravitationsgesetz und ein vorläufiges System von Massen der großen Planeten zugrunde gelegt ist. Sie können durch leicht aufzustellende Gleichungen in die Drehungskomponenten  $p_E$ ,  $q_E$ ,  $s_E$  der Inertialekliptik um die empirische umgewandelt werden. Dabei tritt aber, wie ersichtlich, die Anomalie in der Bewegung des Merkurperihels hindernd entgegen, die dazu zwingt, die betreffende Gleichung zu streichen. Die Berechnung ergibt dann nach Anding und Seeliger:

$$p_E = q_E = 0''.0; \quad s_E = +7''.3$$

d. h. es wird bestätigt, daß die benutzte Ekliptik ihrer Lage nach inertial bestimmt ist, für den Anfangspunkt in der Inertialekliptik aber ergibt sich eine  $7''.3$  pro Jahrhundert betragende rechtläufige Bewegung gegen den Anfangspunkt im empirischen System, d. h. das Fixsternäquinokx. Mit andern Worten: um die nach Verwendung der wahrscheinlichsten Massen übrigbleibenden



Differenzen  $B-R$  im Planetensystem zu erklären, muß eine um  $7'',3$  größere Bewegung des Frühlingspunktes auf der Ekliptik angenommen werden, als sie nach der Beobachtung der Fixsterne statthatt; oder auch: das empirische Fixsternsystem ist in der Orientierung der Ekliptik ein Inertialsystem, in der dritten Komponente aber erst dann, wenn man die stellar bestimmte Bewegung des Frühlingspunktes auf der Ekliptik um  $7'',3$  vergrößert.

Diese Sachlage war abgesehen von der unerledigten Merkuranomale in jeder Hinsicht unbefriedigend. Man kann sich  $s_E$  zusammengesetzt denken aus der Korrektur der bei der Bearbeitung des Planetensystems verwendeten Präzessionskonstante  $\Delta p$  (Lunisolarpräzession in Länge) und aus der gemeinsamen Drehung des bei ihrer Ableitung benutzten Fixsternkomplexes gegen das Inertialsystem der Planeten  $-s'_E$ , so daß

$$s_E = \Delta p + s'_E$$

wird. Aber eine Korrektur der stellar bestimmten Präzessionskonstante von der geforderten Größe ist ebenso unwahrscheinlich wie eine rückläufige Bewegung des gesamten Fixsternkomplexes gegen das Inertialsystem um eine Achse — die Lotlinie zur Ekliptik —, die mit dem Fixsternkomplex nichts zu tun hat. Ich habe eine Drehung des Fixsternkomplexes um die wahrscheinlichste Achse, die Achse senkrecht zur Milchstraße, angenommen und einen verschwindend kleinen Wert dafür erhalten; der hier geforderte ist also unbedingt zurückzuweisen. Andererseits läßt sich die Präzessionskonstante aus ihrer mechanisch begründeten Zusammensetzung unter Verwendung der anderweitig bestimmten Nutationskonstante und Mondmasse (mit allerdings beschränkter Genauigkeit) berechnen; immerhin geht aber daraus hervor, daß eine größere Änderung der aufs Jahrhundert angesetzten Präzessionskonstante als etwa  $4''$  nicht möglich ist, ohne mit anderen Messungen in Widerspruch zu geraten.

Eine erste Besserung in der Lage des Problems bot die Seeligersche Abhandlung: „Das Zodiakallicht und die empirischen Glieder in der Bewegung der inneren Planeten“ (Sitz.-B. bayr. Ak. d. W. Bd. XXXVI S. 595, 1906). Hier wird gezeigt, daß durch die Annahme eines bestimmt orientierten Massenellipsoids, das als Zodiakallicht auch in die äußere Erscheinung tritt, verbunden mit einer Drehung des Inertialsystems

um das empirische im Betrage von nur mehr  $5''85 \pm 1''22$  die empirischen Glieder in der Bewegung der inneren Planeten *einschließlich* der Bewegung des Merkurperihels restlos erklärt werden können. Bedenklich blieb bei dieser Hypothese nur die große Masse, die dem Ellipsoid zugeschrieben werden mußte:  $3,1 \times 10^{-7}$  Sonnenmassen (der gesamte Planetoidenring läßt sich auf höchstens  $2,9 \times 10^{-8}$  Sonnenmassen schätzen) und die immerhin noch unerklärliche Bewegung des Inertialsystems gegen das empirische im Betrag von nahe  $6''$ . Bei genauerer Betrachtung der Seeligerschen Zahlen erkennt man, daß im wesentlichen durch die Annahme des Ellipsoids die Bewegung des Merkurperihels und durch die Inertialbewegung alle übrigen Differenzen erklärt werden. Es war also nur durch eine Änderung des Inertialsystems selbst, also durch eine Änderung des Newtonschen Gesetzes eine befriedigende Lösung der Frage zu erwarten.

Daß das Newtonsche Gesetz ein lediglich empirisches Gesetz ist, das, wenn die Erfahrung es fordert, entsprechend modifiziert werden kann, wird jetzt von niemand mehr in Abrede gestellt; daß es in formaler Hinsicht eine Abänderung erfahren muß, wenn es den Charakter als Universalgesetz beansprucht, ist von verschiedenen Seiten ausgesprochen worden (vgl. Seeliger, Über das Newtonsche Gravitationsgesetz, Astr. Nachr. Nr. 3273). Es tritt also die Frage auf: kann es so geändert werden, daß das dadurch definierte Inertialsystem möglichst nahe mit dem empirisch bestimmten zusammenfällt, d. h. daß die Differenz zwischen den theoretischen und den beobachteten Werten der Säkularbewegungen der drei Elemente  $\pi$ ,  $i$ ,  $\Theta$  für die vier inneren Planeten zum Verschwinden kommen, natürlich einschl. der Merkursanomale.

Die Einsteinsche Gravitationstheorie erklärt bekanntlich die Merkursanomale, indem sie als einzigen Unterschied gegen die Newtonsche Theorie eine vorwärtsschreitende Bewegung der Perihelien im Betrage von  $3 A^2$  Sekunden für jede Sekunde mittlerer Winkelbewegung des Planeten fordert;  $A$  ist dabei die mittlere Lineargeschwindigkeit der Planeten in Einheiten der Lichtgeschwindigkeit, also die Aberrationskonstante der Planeten.

Es soll nun untersucht werden, *welches Inertialsystem die Einsteinsche Theorie liefert*. Hierzu sind die in der letzten Spalte folgender Tafel

Einsteinsche Perihelbewegungen der inneren Planeten.

| Planet      | Mittlere Bahngeschwindigkeit in km/sek<br>$v_0$ | $A = \frac{v_0}{c}$ | Perihelbewegung für einen Umlauf<br>$= 3 A^2 \cdot 1296000$ | Perihelbewegung in 100 Jahren<br>$D \pi''$ | $e D \pi''$ |
|-------------|---|---------------------|---|--|-------------|
| Merkur..... | 48'',879  | 0,000 206 26        | 0'',103 31  | 42'',89                                    | 8'',82      |
| Venus.....  | 34,994  | 116 70              | 0,052 95  | 8,607                                      | 0,06        |
| Erde.....   | 29,766  | 099 26              | 0,038 31  | 3,831                                      | 0,06        |
| Mars.....   | 24,216  | 080 76              | 0,025 36  | 1,348                                      | 0,13        |

stehenden Zahlen den Newcombschen Rechnungswerten hinzuzufügen und durch Vergleich mit den beobachteten unter Hinzunahme der übrigen Elemente  $e, i, \Theta$  die Massen zu bestimmen; die nach Einsetzung der gefundenen Massen übrigbleibenden Reste bestimmen das Inertialsystem der Einsteinschen Theorie. Es sind die in folgender Tabelle unter der Überschrift  $B-R$  stehenden Zahlen, denen ihre Gewichte  $p$  und ihre mittleren Fehler angefügt sind.

Darstellung der Bewegung der Richtungselemente durch die Drehungskomponenten.

|             |                   | Bedingungsgleichungen                          | $B-R$            | $\sqrt{p}$     | Mittlere Fehler | Reste     |
|-------------|-------------------|--|------------------|----------------|-----------------|-----------|
| Merkur..... | $e D \pi$         | $+0,009 p_E - 0,009 q_E + 0,205 s_E = -0'',04$ |                  | $2\frac{1}{2}$ | $\pm 0'',40$    | $-0'',47$ |
|             | $D i$             | $+0,680 \quad +0,732$                          | $= +0,37$        | $1\frac{1}{4}$ | 80              | $+0,28$   |
|             | $\sin i D \Theta$ | $-0,728 \quad +0,674 \quad +0,122$             | $= +0,42$        | 2              | 50              | $+0,25$   |
| Venus.....  | $e D \pi$         | 0,000      0,000 $+0,007$                      | $= -0,11$        | 5              | 20              | $-0,12$   |
|             | $D i$             | $+0,245 \quad +0,968$                          | $= +0,35$        | $3\frac{1}{3}$ | 30              | $+0,30$   |
|             | $\sin i D \Theta$ | $-0,968 \quad +0,245 \quad +0,059$             | $= +0,02$        | 12             | 08              | $+0,02$   |
| Erde.....   | $e D \pi$         |  | $+0,017 = +0,04$ | 8              | 12              | 0,00      |
| Mars.....   | $e D \pi$         | $+0,001 \quad -0,001 \quad +0,093$             | $= +0,86$        | 3              | 35              | $+0,67$   |
|             | $D i$             | $+0,659 \quad +0,751$                          | $= +0,01$        | 5              | 20              | $-0,09$   |
|             | $\sin i D \Theta$ | $-0,751 \quad +0,659 \quad +0,032$             | $= -0,09$        | 5              | 20              | $-0,07$   |

Die Bestimmung selbst erfolgt durch die Bedingungsgleichungen, welche die Größen  $p_E, q_E, s_E$  in Beziehung setzen zu  $B-R$ . Die Zahlenwerte finden sich in der Tabelle und ergeben nach der Methode der kleinsten Quadrate behandelt:  $p_E = +0'',12$ ;  $q_E = +0'',02$ ;  $s_E = +2'',07 \pm 1'',56$  oder wenn von vornherein  $p_E = q_E = 0$  gesetzt wird,

$$s_E = +1'',05$$

Damit ist erwiesen: das Inertialsystem der Einsteinschen Theorie fällt bis auf verschwindend kleine, nur unsicher zu bestimmende Beträge mit dem empirischen Fixsternsystem der Astronomie zusammen, dieses darf also als Inertialsystem betrachtet werden, wie es auch bisher üblich war.

Die erlangten Zahlen sind, wie erwähnt, unsicher und dürfen nur zur Feststellung des eben ausgesprochenen Satzes verwendet werden. Die Verbesserung, welche die  $B-R$  durch sie erlangen, ist nur eine unerhebliche, und die  $B-R$  selbst sind an sich eine genügende Darstellung, da nur zwei von zehn Werten ihren mittleren Fehler überschreiten. Ich halte es für das Angemessenste, alle drei Komponenten gleich Null zu setzen.

Gehen wir noch auf die Zahlen der Gl. (A) ein, so folgt, wenn  $q_E = 0$  gesetzt wird:

$$\Delta e = +1'',158 = +0'',077$$

und damit:

$$\Delta p + s_E = +0'',86$$

Die numerische Zusammensetzung von  $\Delta e$  und  $\Delta p$  aus direkt bestimmten Zahlen ist:

$$\begin{aligned} \Delta e &= +0'',342 \cotg \varepsilon + 0'',37 + q_E \operatorname{cosec} \varepsilon \\ \Delta p + s_E &= +0,342 \operatorname{cosec} \varepsilon + q_E \cotg \varepsilon \end{aligned}$$

oder, da  $q_E$  unter allen Umständen gleich Null gesetzt werden darf:

$$\Delta e = +0'',342 \cotg \varepsilon + 0'',37 = +1'',158$$

$$\Delta p + s_E = +0,342 \operatorname{cosec} \varepsilon = +0'',86$$

Da der Faktor  $+0'',34$  mit großer Sicherheit und übereinstimmend aus zwei verschiedenen Beobachtungsmethoden, der A. R. und Dekl., bestimmt ist, können  $\Delta e$  und  $\Delta p$  als verbürgt gelten.

Wir haben demnach das Resultat: Das Koordinatensystem des Bosschen Fixsternkataloges darf in Verbindung mit der um  $+0'',86$  korrigierten Newcombschen Präzessionskonstante und einer Säkularbewegung von  $1'',16$  des Äquinoktiums auf dem Äquator gegen das Newcombsche Fundamentaläquinoktium als Inertialsystem im Sinne der Newtonschen Mechanik und des Gravitationsgesetzes, korrigiert um die Einsteinschen Perihelbewegungen, aufgefaßt werden.

### Besprechungen<sup>1)</sup>.

**Becher, Erich, Geisteswissenschaften und Naturwissenschaften.** Untersuchungen zur Theorie und Einteilung der Realwissenschaften. München und Leipzig, Duncker und Humblot, 1921. 335 S. Preis M. 60.—

Erich Becher hat in seinen Untersuchungen zur Theorie und Einteilung der Realwissenschaften mit unvergleichlicher Gründlichkeit und Umsicht ein Problem behandelt, das seit Platos Versuch, die Philosophie in Dialektik, Physik und Ethik zu zerlegen, nicht mehr aus der Wissenschaftsgeschichte verschwand. Aristoteles, Bacon und d'Alembert, Comte und Spencer lieferten wertvolle Beiträge zur Frage nach einer natürlichen Gliederung des ganzen Wissenschaftsreiches; indessen wurden nur künstliche Einteilungen erreicht, weil man versäumte, alle Wesensmerkmale einer geschlossenen Organisation im Zusammenhang mit der Entwicklungsgeschichte der verschiedenen Wissenschaften in Betracht zu ziehen.

Als psychologische, nationalökonomische und soziologische Interessen die Vorherrschaft mechanistischer Naturforschung zu Beginn der Neuzeit mehr und mehr beschränkten, konnten die Geisteswissenschaften den Naturwissenschaften zur Seite gestellt werden. Bei

<sup>1)</sup> Die Preise der Bücher sind ohne die Teuerungszuschläge eingesetzt.



*Bentham* und *Ampère* erlangte diese Sonderung bereits maßgebende Bedeutung; ihren umgestaltenden Einfluß auf die Logik entwickelte überzeugend *J. St. Mill*.

Auch *Erich Becher* unterscheidet zwischen Geisteswissenschaften und Naturwissenschaften und bekennt sich so als Gegner der Windelband-Rickertschen Wissenschaftslehre, die eine vielfach beliebte Scheidung von Naturwissenschaften und Kulturwissenschaften durchzuführen sich bemüht.

Der Münchener Philosoph geht von der Voraussetzung aus, daß eine adäquate Gliederung der Wissenschaften nur dann möglich werde, wenn man wie ihre Gegenstände so ihre Forschungsweisen und Erkenntnisgrundlagen als maßgebende Prinzipien gleichwertig verwende. Nach diesen drei Richtpunkten entwirft er dann eine umfassende Anatomie der Realwissenschaften.

Monistischen Tendenzen gegenüber werden körperliche und seelische Gegenstände durch Ablehnung der idealistischen Leugnung außerbewußter Körperlichkeit ebenso wie durch Ablehnung der materialistischen Leugnung einer Realität des Psychischen als Realobjekte erwiesen. Mag man auch versuchen, den Dualismus des Physischen und Psychischen in einer abschließenden Metaphysik zu überwinden: aus den Erfahrungswissenschaften wird er nicht verschwinden, weil er in ihren Erkenntnisgrundlagen wurzelt; denn während das Bewußt-Psychische unmittelbar erkennbar ist, sind die Außenweltkörper nur als Träger von namentlich räumlich-zeitlichen Relationen zu werten. Da der Forscher aber von diesem Unterschied zwischen Objekten, deren Qualitäten ohne weiteres gegeben sind, und anderen, die nur als Träger von gewissen Relationen sich darbieten, stets abhängig bleibt, erscheint eine der Einteilung der Realobjekte in seelische und körperliche entsprechende Gliederung der Realwissenschaften in „Seelenwissenschaften“ und „Körperwissenschaften“ am Platze.

Nun werden aber zuweilen Realobjekte angenommen, die weder physisch noch psychisch sein sollen. So läßt sich z. B. nicht ohne weiteres der Charakter der Faktoren bestimmen, die im Vitalismus bedeutsam werden; wie sie einerseits als seelische oder seelenartige Realitäten, andererseits aber als besondere materielle Energien aufgefaßt werden, die in der toten Natur nicht vorkommen, so können sie auch als ganz eigenartige vitale Realitäten interpretiert werden, die weder psychischer noch physischer Natur sind. Die sich hier ergebenden Schwierigkeiten schaltet *Becher* durch eine Erweiterung des Naturbegriffes aus; seine Zusammenfassung der körperlichen Objekte mit den unkörperlichen und nicht-seelischen Vitalfaktoren unter den Begriff der Natur ist auch erkenntnistheoretisch durchaus unanfechtbar: beide Gegebenheiten sind als apsychische nur aus ihren Wirkungen zu erschließende Kräfte (Kraftkomplexe) und bleiben nach ihrem inneren Wesen fremd, da die Ursache von der Wirkung sehr verschieden sein kann. So könnte selbst der Vitalist bereit sein, die Wissenschaften von den toten Objekten mit den biologischen Disziplinen unter den Begriff der Naturwissenschaften einheitlich zusammenzufassen und diese den Geisteswissenschaften gegenüberzustellen. Der Psycho-Vitalist aber, der die hypothetischen, nicht-physikochemischen Vitalfaktoren durch schließende Analogien als psychische Realitäten interpretiert, wird sich mit dieser Einteilung nicht befreunden können, die vorauszusetzen scheint, daß es nur physische und nur psychische Realobjekte gebe; er nimmt ja an, daß die Gegenstände seiner Forschung ein einheitliches Zusammensein von Körperlichem und

Seelischem darstellen. Man könnte geneigt sein, zwischen den beiden genannten Wissenschaftsgebieten eine dritte Gruppe von Disziplinen zu bilden, die die psychophysischen Objekte zu erforschen hätte. Diese Dreiteilung würde aber schon durch die Tatsache unmöglich gemacht werden, daß das Seelische stets nur in Verbindung mit Körperlichem erscheint. Gleichzeitig legt sie die Möglichkeit nahe, die Realobjekte in physische und psychophysische einzuteilen. Die Konsequenz dieser Einteilung wäre allerdings der historischen Wissenschaftsentwicklung keineswegs gemäß; denn die biologischen Disziplinen müßten von den übrigen naturkundlichen Wissenschaften getrennt und mit den Geisteswissenschaften (Psychologie und Kulturwissenschaften) vereinigt werden. Pflanzen und Tiere wird man aber stets primär als physikochemische Komplexe auffassen und erst sekundär auf dem Wege der Erkenntnis des Körperlichen zum Seelischen vordringen. So ergibt sich denn das Recht, die biologischen Disziplinen den Wissenschaften vom Körperlichen, den Naturwissenschaften, einzuordnen, während die Psychologie in den Kreis der Geisteswissenschaften gehört, weil sie primär dem Seelischen sich zuwendet.

Nach *Hermann Paul* wäre die Psychologie überhaupt die einzige reine Geisteswissenschaft; er übersieht, daß sie wie die Kulturwissenschaften sich mit psychophysischen Zusammenhängen zu beschäftigen hat. Da aber das Seelische auch in der kulturellen Entwicklung der wesentlichste Faktor ist, müssen auch die Kulturwissenschaften wie die Psychologie den Wissenschaften vom Seelischen, den Geisteswissenschaften, einverleibt werden. Dagegen hat sich *Rickert* mit aller Entschiedenheit gewehrt. Er sieht z. B. in dem, was *Hegel* „objektiven Geist“ eines Kulturphänomens nannte, überhaupt nichts Wirkliches; es darf daher nach ihm auch nicht mit der in der Psychologie erforschten real psychischen Welt in Zusammenhang gebracht werden. Wer aber wie *Becher* zwischen „logischem Gehalt“ als einem abstrakt-psychischen Idealobjekt und „objektivem Gehalt“ als einem abstrakt-psychischen Realobjekt, wie es in jedem Sinngelbilde der Kultur gegeben ist, zu unterscheiden weiß, der wird jenen Zusammenhang geradezu fordern müssen.

Die methodischen Erörterungen *Bechers* unterstreichen seine gegenstandstheoretische Scheidung der Realwissenschaften in Naturwissenschaften und Geisteswissenschaften wie seine Zusammenfassung von Psychologie und Kulturwissenschaften unter diese. Wie die Sinneswahrnehmung für die Naturwissenschaften, so ist die Selbstwahrnehmung für die Geisteswissenschaften die charakteristische Fundamentalmethode. Will der Psychologe fremdes Seelenleben erforschen, so verlangt die Methode der Selbstwahrnehmung eine Ergänzung durch die der physischen Zeichen. Auch der Kulturwissenschaftler, der Fremdseelisches als geistige Strömung oder als überindividuelle Idee zu erfassen sich bemüht, geht aus von materiellen Manifestationen (Akten, Kunstwerken u. a.), die er im Sinne physischer Zeichen für Psychisches wertet. Im Hinblick auf diese methodischen Verhältnisse wäre es nicht angängig, die Psychologie von den Kulturwissenschaften zu trennen, um sie den Naturwissenschaften zuzuweisen. Wenn auch das psychologische Experiment solcher Möglichkeit Vorschub zu leisten scheint, so darf doch nicht vergessen werden, daß es wegen der ihm zugrunde liegenden Methode der Selbstwahrnehmung wesensverschieden vom naturwissenschaftlichen Experiment ist. Das Experiment kann überhaupt keine maßgebende Bedeu-



tung für die hier diskutierte Einteilung gewinnen; man vergegenwärtige sich, daß es auf weiten Gebieten der Naturwissenschaften *nicht* heimisch ist (Paläontologie), während es in den Kulturwissenschaften immer mehr an Boden gewinnt (Phonetik).

*Rickert* hat das Problem der Wissenschaftsgliederung mit Hilfe der Methode der Begriffsbildung zu lösen gemeint; gegenüber der von *Becher* benutzten Methode der *Forschung* bevorzugt er eine solche der *Darstellung*. „Begriffsbildung in unserem Sinne bildet immer einen wenigstens relativen Abschluß einer Untersuchung.“ Aus der unendlichen Mannigfaltigkeit des empirisch Wirklichen geht nur wenig in unsere Begriffe ein. Daher, so meint *Rickert*, sei unser Erkennen kein sammelndes Abbilden, sondern ein auswählendes Umbilden, dem ein sicheres Prinzip „Wesentliches“ und „Unwesentliches“ bezeichnen müsse; jenes sei in den generellen, dieses in den individuellen Begriffen enthalten. Die generalisierende Begriffsbildung identifiziert er mit der naturwissenschaftlichen, die individualisierende mit der historischen.

Eine Reihe namhafter Forscher ist in der Tat der Überzeugung, die Geschichte habe nur das Einmalige und Einzigartige darzustellen (*Frischeisen-Köhler*, *H. Maier*, *Mehlis*, *Troeltsch*, *Ed. Meyer*, *Bernheim* u. a.), andere aber streben eine generalisierende Methode an, die wie in der Naturentwicklung so auch in der Kulturentfaltung allgemeine Gesetzmäßigkeiten festzustellen habe (*Condorcet*, *Turgot*, *St. Simon*, *Marx*, *Engels*, *Kautsky*, *Comte*, *Buckle*, *St. Mill*, *Taine*, *Gobineau*, *Woltmann*, *Schallmeyer*, *Secck*, *G. Freytag*, *H. W. Riehl*, *J. Burckhardt*, *K. Lamprecht*). Vermittelnd zwischen den Extremen ließe sich das Kollektive in seinen verschiedenen Gestaltungen als ein Einmaliges und Einzigartiges auffassen. Wenn nun auch zugegeben werden muß, daß das „kollektive Einzelne“ das Produkt individualisierender Begriffsbildung ist, so kann doch auch nicht geleugnet werden, daß in Wirklichkeit beim historischen Erkennen Individualisieren und Generalisieren in beständiger Wechselwirkung stehen (*Meister*, *Spranger*).

Das gilt aber auch für das naturwissenschaftliche Erkennen. In ihm spielt neben dem gesetzmäßigen Allgemeinen das einmalig und einzigartig Besondere (Fixsternastronomie, Saturn-Ringsystem, Mondforschung, Geologie, Biogeographie) eine Rolle, die nicht nur Vorstufe zur Bildung allgemeiner Begriffe ist.

*Rickert* selbst hat gelegentlich anerkannt, daß sich „naturwissenschaftliche Elemente in den Geisteswissenschaften finden“ und „daß die verschiedenen Naturwissenschaften mehr oder weniger historische Bestandteile aufweisen“. So vermag der Gegensatz von Individualisieren und Generalisieren nur untergeordnete Bedeutung zu gewinnen.

Auch *Windelbands* Einteilung, die von der Urteils-gestaltung ausgeht und neben der Qualität des Urteils (seiner generellen oder singulären Natur) auch die Modalität (den apodiktischen oder assertorischen Charakter) beachtet, hält vor *Bechers* Kritik nicht stand. Sie deckt den Irrtum auf, einerseits Geschichtswissenschaften und idiographische (Ereignis-) Wissenschaften, andererseits Naturwissenschaften und nomothetische (Gesetzes-) Wissenschaften zu identifizieren und diese gegenüberzustellen. Es ist auch unmöglich, die Kongruenz zwischen dem Gegensatz von individualisierender und generalisierender Methode und dem materialfundierten Gegensatz von auf Kulturwerte beziehender und kulturwertbeziehungsfreier Behandlung nachzuweisen, was *Rickert* versuchte, um so seine Gegen-

überstellung noch überzeugender zu gestalten. Die Kulturwertbeziehung als Auswahlprinzip bei individualisierender Methode ist unhaltbar; maßgebender wirkt beim Historiker der Gesichtspunkt der Größe, vornehmlich der geistigen. Im übrigen aber hat *Rickert* übersehen, daß auch bei generalisierender Methode vielfach Objekte auf Kulturwerte bezogen werden (Literaturgeschichte).

So rechtfertigt denn auch die methodologische Erörterung die historische Kontrastierung von Geistes- und Naturwissenschaften.

Daß damit eine adäquate Einteilung der Realwissenschaften gegeben ist, geht endlich noch aus einer Untersuchung ihrer Erkenntnisgrundlagen hervor, die teils empirisch, teils apriorisch sind. Die empirischen Grundlagen bieten sich in den beiden Formen der Wahrnehmungserkenntnis, der Sinneswahrnehmung und der Selbstwahrnehmung, dar. Beide sind zugleich auch die Fundamentalmethoden der Realwissenschaften, denen als Gegenstände einerseits physische, andererseits psychische Objekte entsprechen. So führt die Trennung nach Gegenständen, Forschungsweisen und empirischen Erkenntnisgrundlagen zum gleichen Ergebnis.

Man könnte nun zwar meinen, es gebe nur eine Selbstwahrnehmung, nicht aber eine Sinneswahrnehmung, weil man stets Inhalte des Bewußtseins, also Teile des „Selbst“, wahrnehme. Indessen besteht ein wesentlicher Unterschied in der „Apperzeption“ der Objekte, je nachdem sie als solche der eigenen Seele oder als solche der von dieser unabhängigen körperlichen Außenwelt erfaßt werden. Diese psychologische Einsicht beseitigt aber keineswegs ohne weiteres die erkenntnistheoretische Schwierigkeit; es besteht kein einfacher Parallelismus in der erkenntnistheoretischen Funktion von Sinnes- und Selbstwahrnehmung. Jene ist nicht imstande, wie diese ihre Objekte unmittelbar zu gewinnen; sie bietet nur die empirische Basis für eine mittelbare Erfassung.

Will die Wahrnehmung (Erfahrung) über die Bewußtseinsenge des Wahrnehmenden hinauswachsen, so bedarf es noch besonderer apriorischer Fundamente. Vor allem sind die nicht-denknotwendigen Voraussetzungen der Realerkenntnis von Bedeutung, denen der Verfasser bereits in seiner „Naturphilosophie“ eine eingehende Untersuchung widmete. Blicke die Realerkenntnis auf das gegenwärtige Bewußtsein des wahrnehmenden Individuums beschränkt, so gäbe es kein Wissen um Vergangenes und Zukünftiges, vom Fremdseelischen und von der körperlichen Außenwelt. Als grundlegende Voraussetzung ist demnach die des Erinnerungsvertrauens zu werten. Da man logisch berechtigt ist, zu denken, daß „Erinnerung“ stets täusche, erweist sich das Vertrauen auf sie lediglich als erkenntnisnotwendig. Es ist in allen Wissenschaften unentbehrlich. Auch die Voraussetzungen der Regelmäßigkeit und Gesetzmäßigkeit begründen keinen prinzipiellen Unterschied zwischen den einzelnen Wissensgebieten. Gegenüber den Regeln und Gesetzen der Koexistenz verlangen die der Sukzession erhöhte Beachtung. Während die Diskussion der Sukzessionsgesetze der *Erhaltung* eine eindringliche Prüfung des Substanzbegriffes und der Substanzsätze nötig macht, umschließt die der Sukzessionsgesetze der *Veränderung* eine umfangreiche kritische Darstellung des Kausalitätsbegriffes und des Kausalitätsprinzips. Die Ablehnung der innerseelischen und psychophysischen Kausalität durch materialistische und parallelistische Hypothesen vermögen nicht die Bedeutung zu verschleiern, die das Kausalprinzip auch für die geistes-



wissenschaftliche Forschung hat. Wenn es infolgedessen als Kriterium der Wissenschaftsgliederung nicht in Frage zu kommen scheint, so bietet vielleicht die indeterministische Willenslehre günstige Aussicht. Die bisher bekannten Argumente lassen aber die Annahme nicht gesichert erscheinen, daß das Kausalprinzip bei Wollungen Ausnahmen erleide. Im übrigen aber würde die indeterministische Auffassung der Willensfreiheit es ermöglichen, die Erfahrungswissenschaften einzuteilen in solche, für die das Kausalprinzip ausnahmslos gilt, und solche, für die es einzuschränken sei. So würden erneut die Naturwissenschaften den Geisteswissenschaften (Psychologie und Kulturw.) gegenüberzustellen sein.

Zu fesselnden Erörterungen geben die Voraussetzungen der bewußtseinstranszendenten Körperwelt und des Fremdseelischen Anlaß. Dabei spricht alles wie bei der folgenden anregenden Behandlung der Probleme des Zwecks und der Forschung nach Zweck und Zweckmäßigkeit, des Wertes und der Wertungen, für die Adäquatheit der von *Becher* vertretenen Einteilung der Realwissenschaften.

Als ihr drittes Gebiet tritt bei *Becher* neben die Geistes- und Naturwissenschaften die auf das Gesamtwirkliche eingestellte Metaphysik. „Dabei übergreift und krönt die Gesamtrealwissenschaft die beiden Gruppen von Einzelrealwissenschaften, indem sie beider Gegenstände, Methoden und Erkenntnisgrundlagen verbindet, und indem sie sich auf die Ergebnisse der beiden stützt.“

Mag man auch solcher Wertung der Metaphysik dort nicht folgen können, wo die Grenzen unseres Erkennens enger gezogen werden als hier, so wird man doch dankbar anerkennen müssen, daß *Bechers* Arbeit, in der die dem vorliegenden Probleme entsprechende Wissensfülle allseitig gemeistert erscheint, einen Abschluß darstellt, von dem jeder kommende Versuch einer Wissenschaftsgliederung wird ausgehen müssen.

*Paul Luchtenberg, Köln.*

**Fodor, Andor, Das Fermentproblem.** Dresden und Leipzig, Theodor Steinkopff, 1922. 280 S., 24 Textfiguren und zahlreiche Tabellen. Preis M. 65,— + Teuerungszuschlag.

Nachdem die Forschung sich mehr als hundert Jahre lang intensiv mit den Fermenten beschäftigt hat und darüber so ausgezeichnete und das Thema erschöpfende Werke wie die von *C. Oppenheimer* und *v. Euler* vorliegen, berührt es recht eigentümlich, wenn der Verfasser dieses Buches seine Ausführungen mit dem Bekenntnis eröffnet, er sei im Laufe seiner Studien über die Fermentwirkung zur Überzeugung gelangt, daß hier ein Problem von umfassendster biologischer Bedeutung vorliege. Ausgehend von historischen und naturphilosophischen Betrachtungen, untersucht er den Anteil der einzelnen Zweige der Naturwissenschaften an der Aufklärung der Fermentwirkung und findet dabei, daß die Behandlung dieses Problems durch die organische und Biochemie, durch die physikalische Chemie, durch die Biologie und andere Disziplinen bisher eine zu einseitige gewesen sei und daß man in dieser ganzen Frage erst zu einem brauchbaren Ergebnis gelangen können, wenn man von einer höheren Warte aus die unzähligen Einzelbetrachtungen ordne und sie in eine gegenseitige naturgesetzliche Abhängigkeit zueinander zu bringen suche. Wenn der Autor auch mit dieser Binsenwahrheit dem kritischen Forscher nicht viel Neues sagt, so sei zugegeben, daß seine Ausführungen, die allerdings häufig Klarheit und Übersichtlichkeit vermissen lassen und in Hinsicht auf die Literatur viele Lücken aufweisen, den Fachgenossen

manche Anregung geben werden, wenn diese auch gewiß oft genug nur zum Widerspruch gegen die Auffassung des Autors führen wird. — Bedauerlich bleibt, daß der Verfasser schließlich selbst in die Einseitigkeit der Betrachtungsweise verfällt, die er andern Forschungszweigen vorwirft, indem er im Hauptteile seines Buches das kolloidchemische Phänomen als alleinseligmachendes Prinzip für die Lösung des Fermentproblems verkündet. Dies geschieht lediglich auf Grund einiger Versuche, bei denen es dem Verfasser angeblich gelang, einen chemisch definierbaren Protoplasmabestandteil der Hefezelle, ein Hefephosphoprotein, abzutrennen, das, als Fermentkolloid, auf Polypeptide eine spaltende Wirkung ausübte, jedoch nur so lange, bis ein gewisser günstiger Dispersitätsgrad in kolloid-chemischem Sinne erhalten blieb, was durch ultramikroskopische Beobachtungen kontrolliert wurde. Ohne den Wert solcher Untersuchungen zu unterschätzen, wird man sie doch keineswegs als vollgültige Beweise für die Anschauung des Verfassers ansehen können, da seine Versuchsergebnisse noch mancher anderen, weniger gezwungenen Deutung fähig sind. Noch weniger wird man sich der mehr als kühnen Schlußfolgerung des Autors anschließen, daß „Gärung und Atmung sodann nichts weiter als eine Übertragung dieses einfachen Falles ins Vielfältige werden, das den Inhalt verwickelter protoplasmatischer Vorgänge kennzeichnet“ (S. 63). Mit der Aufstellung derartiger unklarer und verschwommener Thesen ist doch der exakten Naturforschung und der Lösung so alter Probleme wirklich nicht geholfen. — Verwunderlich bleibt auch, daß der Verfasser in seinem ganzen Buche das eigentliche Hauptproblem der Fermentforschung, die Versuche zur Reindarstellung der Enzyme, die gerade in letzter Zeit so wichtige Fortschritte gemacht haben, überhaupt nicht würdigt. Die neuen bedeutungsvollen Arbeiten von *Willstätter* über die Isolierung der Peroxydase und Invertase werden auch nicht mit einem Worte erwähnt. Die neueren Anschauungen *Giayas* über den Zustand der Zymase in der Hefe, denen sich *Euler* und *Abderhalden* neuerdings angeschlossen haben, sind gleichfalls nicht berücksichtigt. Auch sonst finden sich viele Ungenauigkeiten in der Wiedergabe der einschlägigen Literatur. So die Angabe auf S. 61, daß durch Methylblau oder Atmungschromogene Wasserstoff aus den gärenden Systemen adsorbiert wird, was *Stange* längst ausführlich widerlegt hat. Bei der Wiedergabe der *Neubergs* Forschungen über die Gärung vermißt man außer der wichtigen Carboligase u. a. die Erwähnung der eigentümlichen Rolle der Ketosäuren als Aktivatoren der Carboxylase, woraus der Autor hätte ersehen können, daß die Kofermente nicht immer, wie er behauptet (S. 156), mit dem Kolloidzustand zusammenhängen müssen. Daß der Gärungsvorgang dem Biologen immer noch ein Buch mit sieben Siegeln ist, und daß der Fermentforscher zur alkoholischen Gärung der Aminosäuren noch keine Stellung nehmen kann, nur deshalb, weil die einzelnen Teilreaktionen sich vorläufig durch wohldefinierte Fermente in vitro nicht verwirklichen lassen, erscheint ebenfalls als eine wenig begründete, etwas einseitige Auffassung des Autors. Im übrigen zeigen uns die Verhandlungen des Leipziger Naturforschertages, daß exakte Forschungen im Sinne von *Willstätter*, *Neuberg* und *Euler* die Lösung des Fermentproblems wirksamer fördern können als derartig wenig experimentell gestützte hypothetische Betrachtungen, wie die des vorliegenden Werkes.

*Felix Ehrlich, Breslau.*

**Hári, Paul, Kurzes Lehrbuch der physiologischen Chemie.** Zweite, verbesserte Auflage. Berlin, Julius Springer, 1922. X, 353 S. und 6 Textabbildungen.  $16 \times 23\frac{1}{2}$  cm. Preis geb. M. 99,—.

Háris Lehrbuch der physiologischen Chemie hat sich Freunde erworben, weil der Autor es verstanden hat, in kleinem Umfange ein recht erhebliches Material in gefällig lesbarer Form vorzuführen. In der neuen Auflage ist eine recht gute physikalisch-chemische Einleitung hinzugekommen. In den rein chemischen Teilen des Buches ist den zahlreichen Fortschritten Rechnung getragen. Eine besondere Note erhält das Buch durch die sehr gründliche Erörterung des Stoffwechsels und des Energieumsatzes. Probleme, die in manchen größeren Lehrbüchern zu kurz kommen, wie z. B. die Ermittlung des Energieumsatzes, der Eiweißumsatz, das Kompensationsgesetz werden bei aller gebotenen Kürze recht gründlich behandelt. Die vielfach eingestreuten methodischen Angaben verraten überall den Kenner, dem es darauf ankommt, zur Betätigung in der physiologischen Chemie anzuregen. Das Buch wird allen denjenigen, denen Zeit oder Neigung für unsere größeren Lehrbücher fehlen, ein guter Vermittler in der für den Biologen und Mediziner zu fördernden Kenntnis der physiologischen Chemie sein.

Leon Asher, Bern.

**Tropfke, J., Geschichte der Elementarmathematik in systematischer Darstellung, mit besonderer Berücksichtigung der Fachwörter.** Zweite, verbesserte und sehr vermehrte Auflage. Berlin und Leipzig, Vereinigung wissenschaftlicher Verleger W. de Gruyter & Co., 1922. Dritter Band: Proportionen, Gleichungen. IV, 151 S. Preis geh. M. 60,—; geb. M. 75,—.

In der Besprechung der beiden ersten Bände in dieser Zeitschrift (Naturwissenschaften 1922, S. 45) hat Ref. eine ausführliche Gesamtcharakteristik der Tropfkeschen Geschichte der Elementarmathematik gegeben. — Dem Titel entsprechend ist der dritte Band in die beiden Abschnitte Proportionen und Gleichungen gegliedert. Es mag besonders betont werden, daß auch die Geschichte der Gleichungen von höherem als dem vierten Grade in ausreichender Weise berücksichtigt wird. — Die beiden ersten diesem Bande beigegebenen Anhänge finden sich bereits in der ersten Auflage, zeigen aber dasselbe Anwachsen des Stoffes, das die Neuauflage allgemein kennzeichnet, was um so angenehmer empfunden wird, als Anhang I eine Zeittafel zur Geschichte der modernen algebraischen Zeichenschrift, Anhang II eine Zusammenstellung von Originalbeispielen aus mathematischen Schriften der verschiedenen Perioden bringt. Anhang III ist neu hinzugefügt und gibt unter der Überschrift: Zur Geschichte der kubischen Gleichungen einen Einblick in ein wichtiges Kapitel der arabischen Mathematik.

Friedrich Drenkhahn, Rostock.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Über eine Methode zur Bestimmung der Natur der durch den Stoß langsamer Elektronen gebildeten Ionen.

Es ist bekannt, daß Elektronen, wenn sie mit genügender Geschwindigkeit auf Gasatome oder Moleküle auftreffen, dieselben zu ionisieren vermögen. Eine

solche Ionisation tritt aber erst dann ein, wenn die Elektronen eine bestimmte für jedes Gas verschiedene Energie (Ionisierungsspannung) besitzen. Die Ionisierungsspannungen sind von Franck und seinen Mitarbeitern und von amerikanischen Forschern weitgehend bestimmt worden. Diese Arbeiten erlaubten aber nur festzustellen, daß von einer bestimmten Elektronenenergie an eine Ionisation eintritt. Welches die Natur der gebildeten Ionen ist, blieb zum Teil zweifelhaft. So ist z. B. nicht zu ermitteln gewesen, ob sich beim Zusammenstoß mit Molekülen Molekül- oder Atomionen (Wasserstoff) oder ein positives und negatives Ion (HCl) bilden. Die Frage nach der Natur der Ionen haben wir nun durch eine Kombination der Elektronenstoßmethode mit der Methode der Massenbestimmung an Ionenstrahlen aufzuklären unternommen. Zu diesem Zweck haben wir in den Ionenaufänger des Elektronenstoßapparates einen kleinen Schlitz angebracht, durch den die Ionen mit kleiner Geschwindigkeit in einen zweiten Raum treten, der durch ein Pumpensystem weitgehend evakuiert wird. In diesem Raum werden die Ionen durch ein elektrisches (paralleles) Feld stark beschleunigt; hierdurch erhalten sie eine bestimmte Geschwindigkeit und gleichzeitig wird der zunächst noch sehr diffuse Ionenstrahl stark konzentriert. Dieser schmale Ionenstrahl tritt nun durch eine zweite Blende in einen Raum, in dem er ein transversales Magnetfeld passiert und so eine bestimmte Ablenkung erleidet. Aus der Größe des magnetischen und des elektrischen Feldes und aus der Ablenkung läßt sich dann das Verhältnis  $e/m$  bestimmen. Nach dem Passieren des Magnetfeldes wurden die Ionen auf einen dünnen Platindraht aufgefangen und elektrometrisch nachgewiesen. Vorläufige Messungen an Wasserstoff von  $\frac{1}{20}$  mm/Hg Druck haben die Anwendbarkeit der Methode ergeben. Bei einer Elektronengeschwindigkeit von rund 20 Volt ergaben sich bei der magnetischen Aufspaltung drei sehr scharfe Intensitätsmaxima des Ionenstrahls, von denen zwei dem Wasserstoff und Quecksilber zugehörten, das dritte wohl durch eine weitere Verunreinigung des Wasserstoffs verursacht war. Zurzeit sind wir unter Benutzung empfindlicherer Instrumente mit Präzisionsmessungen beschäftigt.

Berlin-Dahlem, Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie,  
den 16. November 1922.

H. Kallmann, P. Knipping.

### Berichtigungen.

Herr Dr. R. Kempf von der Chemisch-technischen Reichsanstalt in Berlin-Dahlem macht mich darauf aufmerksam, daß er die auf S. 883 dieses Jahrganges (Heft 40) der Naturwissenschaften gegebene graphische Darstellung schon im Jahre 1919 in den Mitteilungen des Materialprüfungsamtes, Berlin-Lichterfelde-West, S. 218 als hydro-kalorimetrische Kurve bearbeitet hat.

K. Kegel, Freiberg i. S.

In meinem Aufsatz Über die Massenverteilung im Erdinnern, verglichen mit der Struktur gewisser Meteoriten (diese Zeitschrift, Heft 42, 1922) ist ein Druckfehler zu berichtigen. Auf Fig. 1, vierte Linie, rechts von der Zeichnung, soll es heißen „Sulfid-Oxyd-Schale“, statt „Sulfit-Oxyd-Schale“.

V. M. Goldschmidt, Kristiania.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

JAN 12 1923

Heft 48. (Seite 1015—1040.)

1. Dezember 1922.

Zehnter Jahrgang

DEM ANDENKEN

AN

HEINRICH RUBENS

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

**Vorzugspreis für die Bezieher der Naturwissenschaften**

In den nächsten Tagen gelangt zur Ausgabe:

## **Naturwissenschaftliche Monographien u. Lehrbücher**

Herausgegeben von der Schriftleitung  
der „Naturwissenschaften“

Vierter Band:

# **Einführung in die Geophysik**

Von

Professor **A. Prey** — Prag

Professor Dr. **C. Mainka** — Göttingen

Professor Dr. **E. Tams** — Hamburg

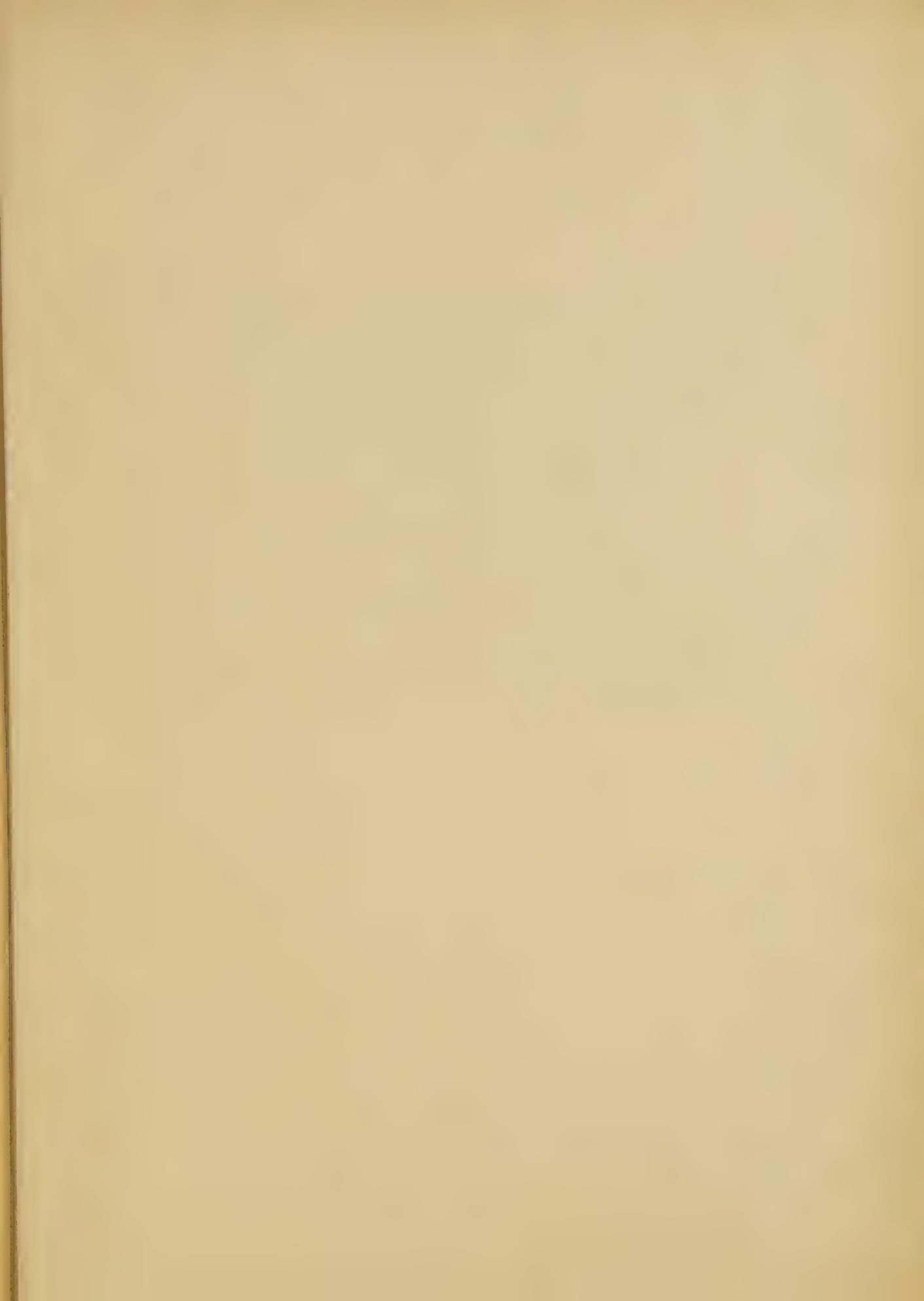
Mit 82 Textabbildungen.

G. Z. 12; gebunden G. Z. 13

**Vorzugspreis für die Bezieher der „Naturwissen-  
schaften“ G. Z. 10; gebunden G. Z. 11**

*Die Grundzahlen (G. Z.) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.*





## Inhalt:

|   | Seite |
|---|-------|
| Heinrich Rubens. Von <i>W. M. Westphal, Berlin</i> . . . . .  | 1017  |
| Rubens und die Experimentierkunst. Von <i>E. Regener, Stuttgart</i> . . . . .   | 1021  |
| Rubens und die Maxwellsche Theorie. Von <i>G. Hertz, Eindhoven</i> . . . . .  | 1024  |
| Die Entdeckung der langwelligen Strahlung des Quecksilberdampfes durch Rubens.<br>Von <i>O. v. Baeyer, Berlin</i> . . . . . | 1027  |
| Rubens und die Quantentheorie. Von <i>J. Franck und R. Pohl, Göttingen</i> . . . . .  | 1030  |
| Die Bedeutung von Rubens Arbeiten für die Plancksche Strahlungsformel. Von <i>G. Hettner, Berlin</i> . . . . .              | 1033  |
| Verzeichnis der von Rubens veröffentlichten Arbeiten. Von <i>G. Hettner, Berlin</i> . . . . .                               | 1038  |



## Heinrich Rubens.

Von Wilhelm Westphal, Berlin.

Am 17. Juli 1922 hat *Heinrich Rubens* nach langem, schwerem Leiden die Augen geschlossen. Mit ihm ist nicht nur ein Forscher von Weltruf, nicht nur einer der erfolgreichsten akademischen Lehrer Deutschlands dahingegangen, sondern auch ein Mensch von eigenartigem Gepräge, dem eine große Zahl älterer und jüngerer Fachgenossen in Verehrung anhängen. Dieser Verehrung soll dieses, seinem Andenken gewidmete Heft Ausdruck geben dadurch, daß sein Leben und Forschen durch diejenigen Fachgenossen dargestellt wird, welche ihm als Assistenten am Physikalischen Institut der Universität Berlin am längsten amtlich und persönlich nahegestanden haben. Wir wollen damit unserm verehrten Lehrer ein bescheidenes Denkmal errichten als Ausdruck einer tiefgefühlten Dankeschuld. Mir sei es gestattet, hier ein kurzes Lebens- und Charakterbild zu geben, während die Darstellung der verschiedenen Zweige seiner wissenschaftlichen Lebensarbeit den folgenden Aufsätzen überlassen bleiben soll.

*Heinrich Rubens* ist geboren zu Wiesbaden am 30. März 1865. Er entstammte einer holländischen Kaufmannsfamilie; seine Eltern waren aus Amsterdam nach Deutschland übersiedelt. Nachdem die Familie ihren Wohnsitz nach Frankfurt a. M. verlegt hatte, besuchte *Rubens* bis Ostern 1884 das dortige Realgymnasium. Entsprechend der auf das Praktische gerichteten Einstellung seiner Umgebung führte seine früh auftretende Neigung zur Physik dazu, daß er sich dem Studium der Elektrotechnik zuwandte, dem er ein Semester zu Darmstadt, zwei Semester zu Charlottenburg widmete. Nunmehr aber war er sich darüber klar geworden, daß Befähigung und innere Neigung ihn nicht in die Technik, sondern zur rein wissenschaftlichen physikalischen Forschung drängten. Es war der gleiche Prozeß, den auch *Heinrich Hertz* durchmachte, und die bekannten Worte, mit denen dieser seinen Entschluß, zur reinen Physik überzugehen, seinem Vater brieflich mitteilte, treffen in weitem Umfange auch auf *Rubens* zu. So bezog er im Wintersemester 1885 die Universität Berlin, verließ dieselbe aber bereits nach einem Semester wieder, um sein Studium bei *Kundt* in Straßburg fortzusetzen. Nie ist er müde geworden, des Einflusses dieses von ihm über alles verehrten Mannes in tiefer Dankbarkeit zu gedenken. Im Jahre 1888 folgte er *Kundt* nach Berlin, als dieser als Nachfolger von *Helmholtz* an die dortige Universität berufen wurde, und promovierte 1889 mit einer Arbeit über das Reflexionsvermögen der Metalle. Bald darauf wurde er zum

Assistenten am Berliner Institut ernannt. Zu dieser Zeit war es, als die Entdeckung der elektrischen Wellen und ihrer Eigenschaften durch *Heinrich Hertz* in entscheidender Weise einem großen Teil seiner künftigen Lebensarbeit die Wege wiesen. In seinem berühmten Vortrage auf der Naturforscherversammlung in Heidelberg betonte *Hertz* die Notwendigkeit, die Brücke von der Optik zur Elektrizitätslehre nunmehr auch von der optischen Seite her zu schlagen. Daß *Rubens* dieses gelang, und wie es ihm gelang, wird immer zu den klassischen Ereignissen in der Geschichte der Physik gezählt werden. Auf diese Weise wurde er veranlaßt, sich eingehend mit der Erforschung des ultraroten Spektralgebietes zu beschäftigen, in dem er im wahrsten Sinne des Wortes Bahnbrecher gewesen ist, und mit dem sein Name für alle Zeiten verbunden bleiben wird. Im Jahre 1896 wurde er an die Technische Hochschule Charlottenburg berufen und 1900 zum ordentlichen Professor ernannt. Seine wissenschaftliche Tätigkeit übte er während der Zeit seiner Charlottenburger Professur im wesentlichen an der benachbarten Physikalisch-Technischen Reichsanstalt aus. Aus dieser Zeit datiert u. a. die Entdeckung der Reststrahlungsmethode und die Messungen der Energieverteilung im Spektrum des schwarzen Körpers, welche *Planck* die sichere experimentelle Grundlage zur Aufstellung seiner Strahlungsformel lieferten und damit das Zeitalter der Quantentheorie und der modernen Atomtheorie einläuten halfen.

Im Jahre 1906 erfolgte *Rubens'* Berufung zum Ordinarius und Direktor des Physikalischen Instituts an der Universität Berlin als Nachfolger von *Paul Drude*. Hier hat er nicht nur selbst mit unermüdlichem Fleiß die Bahn weiter verfolgt, die er schon bisher in seinen Arbeiten so erfolgreich beschritten hatte, sondern er konnte nunmehr auch eine große Zahl von Schülern zur Mitarbeit heranziehen. Es bleibe den nachfolgenden Aufsätzen überlassen, diese Arbeiten im einzelnen zu würdigen. Hier sei nur darauf hingewiesen, wie ihm die Bezwingung des ultraroten Spektralgebiets in immer weiterem Ausmaße gelang, wie er die Brücke von der Optik zur Elektrizitätslehre immer weiter und fester zu schlagen vermochte, und wie er insbesondere in der letzten Zeit noch der Planckschen Strahlungstheorie neue, feste experimentelle Stützen gegeben hat. In den letzten zwei Jahren begann die schleichende Krankheit die Kräfte dieses sonst so lebensstarken Mannes zu untergraben. Aber seinen starken Willen hat das Leiden nicht zu lähmen vermocht, und erst als es ihn wenige

Wochen vor seinem Tode endgültig auf das Lager warf, hat seine wissenschaftliche Lebensarbeit ihren allzufrühen Abschluß gefunden.

Heinrich Rubens gehörte zu den Menschen, deren Leistungen schon zu ihren Lebzeiten die Anerkennung fanden, die ihnen gebührt. Und so sind die äußeren Ehrungen zahlreich, in denen diese Anerkennung ihren Ausdruck fand. Im Jahre 1907 wurde er ordentliches Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften, in deren Berichten auch die Mehrzahl seiner Arbeiten veröffentlicht ist. Er war korrespondierendes Mitglied der Göttinger Gesellschaft der Wissenschaften, Ehrenmitglied der Royal Institution und des Physikalischen Vereins Frankfurt am Main. Die Universitäten Cambridge und Leeds verliehen ihm die Würde eines Ehrendoktors. Von der Royal Society wurde er mit der Rumfordmedaille ausgezeichnet, von der Wiener Akademie der Wissenschaften mit dem Baumgartenpreis. Zeitweilig war er Vorstandsrat des Deutschen Museums in München. Dem Senat der Berliner Universität hat er gerade in den schweren Zeiten unmittelbar nach dem Kriege angehört. Während vieler Jahre war Rubens Vorsitzender der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. Hier war, ebenso wie in allen anderen Körperschaften, denen er angehörte, sein Einfluß durch die Ruhe seines Urteils, wie durch die vermittelnde Art, mit der er Gegensätze zu schlichten wußte, von besonderer Bedeutung.

Die hervorstechendsten Züge in Rubens' Charakter waren ausgeprägter Gerechtigkeitssinn, Gewissenhaftigkeit in Tun und Urteilen, Idealismus, Schlichtheit des Wesens und außerordentliche, oft fast übertriebene Bescheidenheit. Die Ehrungen und die Anerkennung, die er in so reichem Maße erfuhr, haben ihm gewiß Freude bereitet, aber Stolz und Überhebung waren ihm fremd. Stets war er geneigt, Verdienste auf andere zu schieben. Wenn ihm eine Entdeckung gelang oder wenn er eine seiner schönen Messungen beendet hatte, so empfand er daran eine lebhaftere Freude. Aber diese Freude hatte ihren Ursprung nur in der Befriedigung über den erreichten wissenschaftlichen Fortschritt, nie in einem Gefühl der Eitelkeit, daß gerade er es war, der diesen Fortschritt erzielte. Er war in Wahrheit ein Forscher, um der Erkenntnis willen. Die Wissenschaft war ihm Selbstzweck und Lebenselement, nie ein Mittel zur Erringung von äußerer Ehre oder materiellen Vorteilen. Für seine Wissenschaft war er zu jedem Opfer an Ruhe und Bequemlichkeit bereit; und sie forderte von ihm wahrlich größere persönliche Aufopferung, als von den meisten anderen Physikern. Nur wer es selbst erlebt hat, weiß, was es bedeutete, wenn er nach der übergroßen Tagesarbeit eines Berliner Ordinarius der Physik am Abend an die Arbeit ging und — im Winter im ungeheizten Zimmer — bis in die späten Nachtstunden am Mikroradiometer Messungen von äußerster Prä-

zision anstellte, Ausschläge beobachtete, welche oft nur Bruchteile eines Millimeters groß waren und bis auf  $\frac{1}{20}$  mm genau abgelesen werden mußten. Nur der vom Erkenntnisdrange angefeuerten außerordentlichen Energie, die Rubens eignete, ist es zu danken, daß die wissenschaftlichen Früchte seines allzu kurzen Lebens so wertvoll und so reich sind.

So weit entfernt Rubens von jedem Hochmut und Gelehrten dünkeln war, so sehr war er sich doch der Würde bewußt, welche mit der Stellung eines deutschen Hochschullehrers verbunden ist. Wie von sich selbst, so verlangte er von andern, daß sie dieser Würde in ihrem persönlichen und wissenschaftlichen Verhalten Rechnung trügen. Sauberkeit der Methoden war ihm auch hier Bedürfnis. Wem er einmal seine Neigung und sein Vertrauen geschenkt hatte, dem hing er sein Leben lang in Treue an, mochten sich auch die äußeren Beziehungen gelockert haben. Für Untreue und Hinterhältigkeit hatte er kein Verständnis, Gewalttätigkeit ekelte ihn an. Wie schwer mag er noch kurz vor seinem Tode wegen des grauenvollen Todes seines alten Freundes und Studiengenossen Walther Rathenau gelitten haben.

Wie wenige kannte Rubens den Begriff der Verehrung. Seine Verehrung galt in erster Linie den lebenden und toten Großen seiner Wissenschaft. Aber seine Pietät und Ehrfurcht vor der Tradition machte auch vor kleinen Dingen nicht halt. An althergebrachten Bräuchen und Dingen, und wenn es nur der Ort und die Zeit einer Veranstaltung war, rüttelte er nur sehr ungern. Wie schwer hat er sich zur Verlegung des Berliner Kolloquiums aus der Institutsbibliothek in den kleinen Hörsaal entschlossen. Ich glaube, so recht wohl hat er sich dort nie gefühlt. Selten verfehlte er, einem Besucher, den er zum Sitzen auf dem Sofa in seinem Direktorzimmer nötigte, zu erzählen, daß dort Helmholtz seinen Mittagsschlaf zu halten pflegte. Es sei nur so schade, daß der alte Wachstuchüberzug habe erneuert werden müssen. Mit besonderer Liebe hing er an den alten, schönen Apparaten in der Institutsammlung, welche noch von Gustav Magnus herührten. Diese Pietät entsprach überhaupt einem konservativen Zuge seines Charakters, welcher aber nicht hinderte, daß er immer bestrebt war, mit seiner Zeit zu gehen. Auch in seiner Seele, wie in der jedes ernstesten Menschen, rangen die beiden Tendenzen miteinander, welche durch die beiden Sprüche charakterisiert sind: „Festhalten am guten Alten“ und „Fortschreiten mit neuen Zeiten“. Diesen beiden Tendenzen, mit denen sich jeder Mensch und jede Zeit in ihrer Art abzufinden hat, ist er in den verschiedenen Zweigen seiner Betätigung in verschiedenem starkem Maße gefolgt. In seiner wissenschaftlichen Einstellung war er in jeder Beziehung ein moderner Mensch. Jede seiner Arbeiten beweist es zur Genüge. Als Lehrer war er geneigt, an



alten, bewährten Methoden festzuhalten. In seiner glänzenden Vorlesung über Experimentalphysik — wohl einer der besten, die je in Deutschland gehalten worden ist — war er entschieden konservativ. Die neuesten Errungenschaften der Physik wurden zwar den Hörern nicht vorenthalten, aber die ganze Vorlesung war doch aufgebaut auf der sog. „klassischen“ Physik. Das war nicht Bequemlichkeit, denn wohl kein Hochschullehrer hat mehr Fleiß an seine Vorlesung verwendet als er. Er war von den didaktischen Vorzügen dieser Methode überzeugt und hat oft bedenklich den Kopf geschüttelt, wenn jüngere Kollegen es unternahmen, in der Anfängervorlesung neue Wege einzuschlagen. Er meinte, dabei könnten die Studierenden kein positives Wissen erwerben. Es sei wie beim biogenetischen Grundgesetz, daß der Lernende zunächst die historischen Phasen der Entwicklung der Wissenschaft durchlaufen müsse.

Rubens Charakterbild wäre unvollständig, wollte man nicht der tiefen Freude Erwähnung tun, welche alles Schöne in seiner Seele erregte. So war er ein begeisterter Freund der Musik und insbesondere ein vortrefflicher Kenner und glühender Verehrer *Beethovens*. In seinen guten Tagen kündigte sich sein Kommen gar oft schon von weitem dadurch an, daß er, eine Beethoven-Melodie singend oder pfeifend, durch das Institut ging. Mit der neueren Musik, etwa nach *Brahms*, hat er sich nie befreunden können. Eine ganz besondere Empfänglichkeit besaß er für schöne Farbeindrücke. So ist es kein Wunder, wenn seine Vorlesungen gerade auf dem Gebiet der Optik, vor allem der Kristalloptik, glänzende experimentelle Leistungen waren, die nicht zum mindesten auch aus der reinen Sinnenfreude an der Farbschönheit der Versuche hervorgingen. Auch im täglichen Leben reagierte er auf das stärkste auf jede noch so unscheinbare Farbenseinzeichnung.

Groß und kräftig von Gestalt, hatte Rubens seine Freude an jeder Art körperlicher Betätigung. Er war ein begeisterter und erfolgreicher Segler, und noch das Interesse seiner letzten Lebenstage galt dem damals in Berlin stattfindenden Tennisturnier.

Rubens war ein im schönsten Sinne des Wortes vaterländisch denkender und fühlender Mann, dabei weit entfernt von jedem Nationalismus. Unter dem Zusammenbruch Deutschlands hat er seelisch schwer gelitten. Tiefen Kummer bereiteten ihm im Kriege die maßlosen feindlichen Angriffe gegen die deutschen Gelehrten. Es mußte ihn dies um so mehr treffen, als er gerade für die Kollegen jenseits des Kanals stets eine besondere Sympathie gehegt hatte. Freudig begrüßte er nach dem Kriege jeden aus dem Auslande kommenden Versuch persönlicher Wiedernäherung. Aber den Zusammenbruch der internationalen wissenschaftlichen Solidarität hat er nie verwunden.

Dem Physikalischen Institut der Universität Berlin hat Rubens fast volle 16 Jahre vorgestanden.

Schon rein äußerlich ist diese Zeit dem Institut eingepreßt durch eine große Zahl von einschneidenden Änderungen und Verbesserungen, sowohl bezüglich der technischen und räumlichen Einrichtungen, wie auch der Sammlungen des Instituts. So wurde der große Hörsaal einem gründlichen Umbau unterzogen, um der durch Rubens' ausgezeichneten Vortrag angezogenen, stets wachsenden Hörerzahl zu genügen und in seinen Einrichtungen den Anforderungen der Neuzeit angepaßt. Die maschinellen und sonstigen Einrichtungen erfuhren erhebliche Verbesserungen, Vorlesungs- und Gebrauchssammlung wurden auf der Höhe der Zeit gehalten, bis auch hierin die wirtschaftliche Not des Vaterlandes zu manchem schweren Verzicht nötigte.

Ein besonderer, fast rührender Zug in Rubens' Wesen war seine zärtliche Liebe zu seinen Apparaten. Er behandelte sie fast wie lebende Wesen, und ein wahrer Schmerz war es ihm, wenn ein Apparat beschädigt wurde — was übrigens durch ihn selbst bei seiner außerordentlichen Sorgfalt so gut wie nie geschah. Den größten Wert legte er, vor allem auch in seiner Vorlesung, auf guten Zustand und anständiges Aussehen der Apparate.

Der Vorlesung über Experimentalphysik widmete er sich mit der ganzen Gewissenhaftigkeit und Treue, die einen Grundzug seines Wesens bildete. Ich habe es während meiner Tätigkeit als Vorlesungsassistent oft erlebt, wie er bei der Vorbereitung einen Versuch immer wieder vornahm, weil er glaubte, er könne ihn immer noch ein klein wenig besser machen, aber auch aus einer fast kindlichen Freude an jedem gelungenen Versuch. Wie oft habe ich die Institutskollegen zusammenrufen müssen, damit sie an seiner Freude über einen Versuch teilnahmen, der ihm besonders gut gelungen schien. Die große Mühe, die sich Rubens mit der Vorbereitung seiner Vorlesung gab, fand ihren Lohn in der regsten Anteilnahme seiner Hörer. Ich habe kein Kolleg erlebt, in dem die „Abklingungskonstante“ der Hörer so klein war wie bei ihm. Mit unermüdlichem Eifer und voll eigener Begeisterung für seine schöne Wissenschaft suchte er seinen Hörern den Wissensstoff nahe zu bringen, oft wiederholend, wenn er glaubte, nicht klar genug gewesen zu sein. Und es war die Regel, daß man ihn noch eine gute halbe Stunde nach Schluß der Vorlesung im Hörsaal fand, umringt von einer kleinen Schar seiner Getreuesten, Fragen beantwortend und Versuche wiederholend. Es ist kein Zweifel, daß der Unterricht in der Experimentalphysik unter Rubens auf einer ganz ungewöhnlichen Höhe stand.

Diese Pflichttreue gegen seine Schüler kam in besonders hohem Maße seinen Doktoranden zugute, deren Fortschritt ein ständiger Gegenstand seiner Fürsorge war. Die Frage der Themen

für die Dissertationen wurde immer wieder erwogen, damit der Schüler einmal etwas bei der Arbeit lerne, andererseits aber auch ein greifbarer Erfolg in vernünftiger Zeit sicher sei. Ein reicher Gewinn ergab sich für den jungen Physiker, dem es vergönnt war, von *Rubens* in das selbständige wissenschaftliche Arbeiten eingeführt zu werden.

Eine Tätigkeit, die *Rubens* bei seiner Gewissenhaftigkeit auch psychisch schwer belastete, waren die Prüfungen. Er war kein eigentlich „strenger“ Examinator, und die Kunst, den Prüfling zur Hergabe seines Wissens zu veranlassen, war ihm in hohem Maße eigen. Aber er hielt darauf, daß die Prüfungen ihren Zweck erfüllten, ungeeignete Elemente auszuscheiden. Es sei gestattet, hier eine Probe seines Humors zu geben. Bei einer Oberlehrerprüfung konnte er einer jungen Dame statt der erhofften 1. Stufe nur die 2. Stufe geben. Sie bat ihn flehentlich, doch sein Urteil zu revidieren, und um sein Herz zu erweichen, sagte sie schließlich, sie wolle ja auch gar nicht unterrichten, sondern alsbald heiraten. Worauf *Rubens* der Unterhaltung ein Ende bereite mit den Worten: „Nun, dafür dürfte wohl auch die 2. Stufe genügen.“

Wir, die unter *Rubens* Assistenten im Berliner Institut gewesen sind, gedenken wohl ohne Ausnahme dieser Zeit als einer außerordentlich glücklichen. Sie ist gekennzeichnet durch ein freies und ungestörtes Schaffen in einem Kreise, der — zum Teil schon durch Jugendfreundschaft verbunden — auf das engste zusammenhing, einer den andern fördernd und anregend. *Rubens'* Verdienst an diesem glücklichen Zustande lag nicht darin, daß er versucht hätte, selbst auf unsern Entwicklungsgang entscheidenden Einfluß zu nehmen. Vielmehr sind wir persönlich ihm zu außerordentlichem Danke dafür verpflichtet, daß er uns in vollem Vertrauen zu dem Ernst unseres eigenen Strebens vollste wissenschaftliche Freiheit ließ und nie verlangte, wir sollten diejenigen Gebiete bearbeiten, die mit seinen eigenen Arbeiten in Zusammenhang standen. Hierin liegt ein großer und gewiß nicht leichter Verzicht. Denn indem er seinen Assistenten die volle Freiheit des Schaffens ließ, verzichtete er selbst darauf, sich mit einer „Schule“ zu umgeben. Und leider stehen wir daher heute vor der Tatsache, daß nur verhältnismäßig wenige Physiker der jüngeren Generation noch wissenschaftlich forschend tätig sind, die von *Rubens* selbst in seine Experimentierkunst eingeweiht worden sind. Auch das Werk, in dem er die Feinheiten der Meßtechnik im Ultrarot niederzuschreiben versprochen hatte, ist ungeschrieben geblieben, und seine Kunst und vieles von dem, was er nie niedergeschrieben hat und was er als seine „Erweisheit“ zu bezeichnen pflegte, ist mit ihm ins Grab gesunken. Ein unersetzlicher Verlust für unsere Wissenschaft.

Für die Interessen der Assistentenschaft hat *Rubens* stets ein warmes Herz gehabt. Immer wieder hat er betont, daß die wissenschaftliche Forschungsarbeit einen Teil der dienstlichen Obliegenheiten der Assistenten bilde. Er hat dadurch mitgeholfen zu verhindern, daß eine mißbräuchliche Anwendung des Prinzips des Achtstundentages auf die Tätigkeit der Assistenten ihnen die Möglichkeit raube, sich zu selbständigen Forschern auszuwachsen. Er erkannte klar, daß andernfalls die Heranziehung eines brauchbaren wissenschaftlichen Nachwuchses für die akademischen Lehrstühle ausgeschlossen sein würde. Schwierigkeiten, wie sie sonst des öfteren zwischen Direktoren und Assistenten bezüglich der wissenschaftlichen und unterrichtlichen Tätigkeit der letzteren entstanden sind, waren im Berliner Physikalischen Institut wie überhaupt in den meisten deutschen Physikalischen Instituten unbekannt. Vielmehr war es *Rubens'* eifrigstes Bestreben, seine Assistenten in Forschung und Unterricht nach allen Kräften zu unterstützen.

Zu ganz besonderem Danke sind wir *Rubens* für die treue Pflege verpflichtet, die er einem kostbaren Erbeil des Berliner physikalischen Lebens hat angedeihen lassen, dem Kolloquium. Dieses wird zwar im Vorlesungsverzeichnis angekündigt, bildet aber seit langen Jahren den wöchentlichen Sammelpunkt der Berliner Physik, soweit sie wissenschaftlich forschend interessiert ist. Dieses Kolloquium hat *Rubens* während 16 Jahren auf vollster Höhe erhalten, und es wäre reizvoll, festzustellen, wieviele wertvolle Arbeiten auf Anregungen zurückgehen, die im Kolloquium empfangen wurden. Die Kunst der Leitung eines Kolloquiums besteht nicht nur in der richtigen Auswahl der vorzutragenden Arbeiten, sondern ganz besonders auch in der Belebung der Diskussion. Diese Kunst war *Rubens* in hohem Maße eigen, und es ist wohl nur selten vorgekommen, daß ein Vortrag ganz ohne Diskussion verlief. Meldete sich sonst niemand zum Worte, so wußte meist *Rubens* durch eine Frage eine Diskussion im Gang zu bringen.

Alles dies hat *Rubens* geleistet neben der Fülle der sonstigen Amtspflichten, die auf dem Berliner Ordinarius der Experimentalphysik lasten. Er hat es geleistet, bis er, wenige Wochen vor seinem Ende, unter seiner letzten Krankheit zusammenbrach, deren langsames Fortschreiten dem wachsamem Auge schon lange deutlich erkennbar war und gegen die er sich mit aller Kraft zu wehren strebte. In den Sielen ist er gestorben, in treuester Pflichterfüllung bis zum letzten Atemzuge. Uns, denen es vergönnt war, ein gut Teil unseres Lebensweges neben ihm zu gehen, bleibt er ein Vorbild in dieser Treue, in der Gewissenhaftigkeit seines Forschergeistes und in der Liebe zu unserer Wissenschaft, und über das Grab hinaus folgt ihm unser Dank für das, was er uns aus dem Seinen gegeben hat.



## Rubens und die Experimentierkunst.

Von E. Regener, Stuttgart.

Es dürfte allgemein anerkannt werden, daß die letzten zwei bis drei Jahrzehnte die Gesamtheit unserer physikalischen Erkenntnis außerordentlich und zwar mit großer Schnelligkeit erweitert haben, und man kann zudem behaupten, daß diese Entwicklung zurzeit keineswegs zum Stillstand gekommen ist. Die Quantentheorie, die Physik des Atomkernes, die allgemeine Relativitätstheorie, sind — um nur einiges herauszugreifen — deutliche Beispiele dafür, daß wir uns augenblicklich einer Reihe klar erkennbarer Fragestellungen von grundlegender Bedeutung gegenübersehen, auf die wir die eindeutigen Antworten noch nicht geben können. Diese schnelle Entwicklung unserer Wissenschaft stützt sich auf die Arbeiten einer so großen Zahl bedeutender Forscher in allen Kulturländern, daß der zeitgenössische Beobachter, insbesondere, wenn er der Physik etwas abseits steht und sein Blick auf die allgemeine Entwicklung gerichtet ist, leicht dazu kommen könnte, bei der Menge und Qualität des beigebrachten Materials die Rolle, die der einzelne Forscher in dieser Entwicklung spielt, als unwesentlich zu betrachten. Da führt uns der Weggang eines Mannes wie *Rubens*, der, auf der Höhe des Schaffens stehend, uns plötzlich entzissen wird, wieder vor Augen, daß auch heute noch das Wachsen einer Wissenschaft in allen wesentlichen Punkten auf die treibenden Kräfte zurückzuführen ist, die in der Persönlichkeit des einzelnen Forschers wohnen. Das Gesamtbild der heutigen Physik würde sicherlich anders aussehen, wenn andere Persönlichkeiten an seinem Aufbau teilgenommen hätten.

Das spezifisch schöpferische Element von *Rubens* Tätigkeit als Physiker lag wesentlich im Experimentellen. Trotzdem war er nicht ein reiner Experimentalphysiker — wenigstens nicht, wenn man diese Bezeichnung im einschränkenden Sinne versteht. Die neuerdings wieder betonte Gegenüberstellung von experimentellen und theoretischen Physikern erscheint nur geeignet, Gegensätze zu konstruieren, wo keine vorhanden sind. Auch ein Physiker, der rein experimentell arbeiten will, muß heute mit den Grundlagen der zur Diskussion stehenden Theorien durchaus vertraut sein. Andernfalls würde er eine ganz unökonomische Selbstentäußerung treiben. Denn er würde sowohl beim Anstellen seiner Versuche einen bestimmten Kreis von maßgebenden Gesichtspunkten unbeachtet lassen, als auch bei der Aufklärung zufällig gemachter Beobachtungen nicht alle Deutungsmöglichkeiten ins Auge fassen können. Er würde eben kein Physiker, sondern nur ein Anordner von Experimenten oder ein — noch dazu unpraktischer — Sammler von Tatsachen sein. Der erfahrene experimentierende Physiker wird weder das theoretisch an-

scheinend ganz gesichert Dastehende als unbedingt feststehend und keiner weiteren Prüfung bedürftig betrachten, noch auch von vornherein eine theoretische Deutungsmöglichkeit, selbst wenn sie zunächst sehr unwahrscheinlich erscheint, voreingenommen ablehnen. Ich kann deshalb nur eine unglückliche persönliche Einstellung darin erblicken, wenn heute Stimmen laut werden, die die jungen Experimentalphysiker vor den „Dogmen“ der Theoretiker warnen wollen. Soviel ich sehe, liegt da eine einfache Verwechslung zwischen Dogma und versuchsweise aufgestelltem Axiom vor. Kein vernünftiger Theoretiker wird heute seinen allgemeinen Ansätzen, den Axiomen, die das Primäre seiner Theorien sind, den Charakter eines Dogmas anheften wollen, sondern seinen Ansatz so lange als einen versuchsweisen betrachten, bis er nicht auf sämtlichen Gebieten der Physik restlos seine Bestätigung in der Erfahrung gefunden hat. Der experimentierende Physiker ist zudem in einer glücklicheren Lage als der theoretisierende: sein Verdienst ist ebenso groß, wenn er eine Theorie bestätigt, als wenn er ihre Unzulänglichkeit nachweist. Ja, die Abweichungen in seinen Beobachtungen vom theoretischen Soll werden auf ihn immer einen besonderen Anreiz ausüben, da sie sehr oft zur Aufdeckung neuer wichtiger Erscheinungen geführt haben und noch führen werden.

Ob ein Physiker seine Tätigkeit mehr nach der theoretischen oder mehr nach der experimentellen Richtung hin ausübt, wird davon abhängen, ob seine Neigung und Begabung ihn mehr den mathematischen Apparat oder die praktische Experimentierkunst beherrschen lassen. Der Gebrauch jedes dieser beiden Hilfsmittel erfordert heute soviel dauernde Übung und damit Zeitaufwand, daß die Bevorzugung eines von beiden als natürlich erscheint. So finden wir bei *Rubens* wenig Arbeiten rein theoretischen Charakters, welche neue zusammenfassende Prinzipien oder neue quantitative Beziehungen in dem vorhandenen Beobachtungsmaterial aufdecken. Nichtsdestoweniger sind seine Arbeiten durchdrungen von der theoretischen Einstellung auf die großen Zusammenhänge, deren Erfassung erst den Physiker als solchen ausmacht. So sehen wir, daß die Mehrzahl von *Rubens* Arbeiten sich mit der Prüfung solcher theoretischer Beziehungen beschäftigt. Die elektromagnetische Theorie des Lichtes ist es vor allem, auf die sein Blick gerichtet ist, die große Theorie, welche den Zusammenhang zwischen den optischen und elektrischen Erscheinungen aufklärt. Insbesondere interessiert ihn das Gebiet der Strahlung von seiner ersten Arbeit an. Die elektromagnetische Lichttheorie im optischen Ge-

biete restlos experimentell zu prüfen, scheint schon nach seinen ersten Arbeiten das Ziel zu sein, das er sich gesetzt hat. Daraus ergibt sich für ihn dann später als Richtschnur das Bestreben, das Gebiet der optischen Wellen nach den langen Wellen hin zu erweitern, da dort die Verknüpfung der optischen Eigenschaften mit den elektrischen Konstanten einfacher wird. Wie glänzend ihm dies gelungen ist, ist im einzelnen an Hand der großen Zahl seiner Arbeiten (über 100) an den anderen Stellen dieses Heftes von berufener Seite auseinandergesetzt.

Betrachten wir jetzt die Arbeitsweise, wie sie *Rubens* beim Experiment in der Vorlesung und in seinem Laboratorium eigen war, um dadurch wenigstens die äußeren Begleitumstände seiner großen schöpferischen Arbeit zu erfassen. In letzter Linie bleibt uns ja die geistige Produktivität eines Menschen ein Vorgang, dessen innerste Wurzel eines der größten Geheimnisse ist, dem wir gegenüberstehen. Wir müssen uns begnügen, aus dem sinnfälligen Äußern die Eigenschaften des Schaffens zu verstehen suchen. Der Experimentator arbeitet in seinem Laboratorium zwischen seinen Apparaten und man kann von vornherein annehmen, daß sein Verhältnis zu seinen Apparaten, seine Arbeitsweise, seine Einstellung gegenüber seinem Arbeitsobjekt auch in dem Ergebnis seiner Arbeit zum Ausdruck kommen wird. Bei *Rubens* war dies sicherlich der Fall.

Wer einmal einer Vorlesung oder einem Vortrag von *Rubens* mit Experimenten beigewohnt hat, wird von dem besonderen Verhältnis etwas gespürt haben, in welchem dieser Forscher zu seiner Wissenschaft stand. *Rubens* hatte ein ausgesprochenes *Formgefühl*. Es kam ihm bei den Experimenten in seinen Vorlesungen nicht nur darauf an, daß sie „gingen“; mindestens ebenso wichtig war es ihm, *wie* sie gingen. Es genügte ihm nicht, daß der Ablauf des Experimentes die gesuchte Erscheinung deutlich zeigte, sondern es mußten auch alle Nebenumstände zu dem Experiment *passen*. Das zum Versuch gehörige Stativ durfte nicht zu groß und nicht zu klein sein, das Becherglas mußte zu der aufzunehmenden Menge der Flüssigkeit im richtigen Verhältnis stehen, die elektrischen Leitungen mußten so geführt sein, daß man mit einem Blick die ganze Stromführung übersehen konnte, die Drahtverbindungen mußten gut untergeklemt und durften nicht verdreht sein usw. Sehr wichtig war ihm auch der ganze „Aufbau“ der Vorlesung, d. h. die Verteilung der einzelnen Apparate auf dem Experimentiertisch. Oft war schon alles aufgebaut, da mußte es wieder umgebaut werden, wenn es etwa auf andere Weise übersichtlicher war oder schöner zu gehen versprach (manchmal gab es dann freilich nach langem Probieren wieder das Ursprüngliche). Oft fiel ihm kurz vor der Vorlesung noch eine kleine Abänderung eines Versuches ein, die ihn klarer, sinnfälliger

machen sollte. Es war ihm dann eine Freude, wenn er diese Verbesserung noch schnell anbringen konnte. Besonderen Wert legte er auf schöne Tafelzeichnungen; er verwandte selbst sehr viel Mühe und Zeit darauf und ruhte nicht eher, als bis er mit wenigen klaren Strichen das Schema eines Apparates oder einer Versuchsanordnung an der Tafel hatte, wie es jedem Buche zur Zierde gereichen konnte.

Eine besondere Wertschätzung hatte *Rubens* für gut und schön gebaute Apparate. Mit Stolz zeigte er Besuchern des Berliner Institutes in der Sammlung die alten Apparate, die noch aus der Zeit von *Magnus* stammten und die er mit besonderer Liebe hütete. Sie waren alle sehr sorgfältig und solide aus gutem Messing und prächtigem dunklen Mahagoniholz gebaut, so daß die Reihe der Jahrzehnte fast spurlos an ihnen vorübergegangen war. Die Sorgfalt, die *Rubens* der Erhaltung dieser und der anderen schönen Vorlesungsapparate angedeihen lassen wollte, war mitbestimmend dafür, daß unter ihm eine vollständige Trennung der in der Vorlesung gebrauchten Apparate von der übrigen Sammlung des Institutes durchgeführt wurde. Ganz besonders lagen ihm natürlich die Apparate am Herzen, mit denen er selbst arbeitete. Diese hielt er in einem besonderen Schrank in seinem Laboratorium verschlossen und er gab sie nur ganz zuverlässigen Mitarbeitern heraus. Sehr übel nahm er es, wenn jemand gute physikalische Apparate schlecht behandelte. Ebenso störte ihn Unordnung im Laboratorium.

Mögen alle diese Dinge zunächst nebensächlich erscheinen, so ist doch ihre Summe mitbestimmend für die Einstellung, die *Rubens* zu seiner Arbeit hatte. Für ihn als experimentierenden Physiker war zwar der Ausgangspunkt meist der abstrakte theoretische Ansatz oder die zu prüfenden Formeln. Seine eigentliche Arbeit begann aber mit dem konkreten Experiment. Die Vorbereitung hierzu besteht in praktischen Erwägungen und *operativen* Vorstellungen. Je inniger sich dabei das Vorstellungsvermögen in das zu bearbeitende Objekt eingefühlt hat, um so leichter wird sich die Anordnung der Dinge ergeben, die die beabsichtigte Wirkung hervorbringt. Selbst bei den einfachsten Versuchen laufen ja immer neben dem gesuchten Vorgang eine Reihe von Vorgängen parallel, die den ersten stören. Es sind das die Ursachen für die Fehler, die überall auftreten und die in einfachen Fällen in den Temperaturveränderungen, in den Erschütterungen, in der mangelnden Abbildung durch optische Systeme usw. gegeben sind. Ihre Fernhaltung bzw. ihre Berücksichtigung ist eine der wichtigsten Aufgaben des experimentierenden Physikers. Das abgeschlossene System des Theoretikers ist ja überhaupt nur eine Fiktion und für den Experimentator das unerreichbare Ideal.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die Einstellung, die *Rubens* zu seiner wissenschaft-



lichen Arbeit hatte, in dieser Richtung besonders glücklich war. Die Freude an der übersichtlichen Ordnung, der ausgeprägte Sinn für absolute Sauberkeit, die Einfühlung in die Eigenschaften des Materials gaben ihm eine Sicherheit in der Disposition des Experimentes, die ihn mit instinktivem Griff das Wesentliche vom Nebensächlichen in der Wirkung abschätzen und trennen ließ.

Die Auswirkungen eines solchen Charakters in den wissenschaftlichen Arbeiten sind im einzelnen von anderer Seite in diesem Hefte dargestellt. Sehen wir hier nur auf das Allgemeine, so können wir ein Charakteristikum bei allen Arbeiten von *Rubens* finden: das ist die unbedingte Zuverlässigkeit in betreff des angegebenen Resultats. Hierauf ruht ja gerade das Schwergewicht beim experimentell arbeitenden Physiker. Sei es, daß das experimentelle Ergebnis einen theoretischen Ansatz bestätigt, sei es, daß es ihn widerlegt, immer wird seine Zuverlässigkeit von entscheidender Bedeutung für seinen bleibenden Wert sein. Gerade in der Art der Formulierung des Resultates unterscheidet sich auch die Arbeit des Theoretikers von der des Experimentators. Eine Theorie bleibt fast niemals in der ursprünglichen Gestalt, die ihr von ihrem Urheber gegeben wurde, stehen; meistens sehr bald erfährt sie Veränderungen oder Erweiterungen, wenn sie nicht gar von anderen Theorien abgelöst wird. Die Ergebnisse der experimentellen Physik aber sind Tatsachen, die, wenn sie zuverlässig ermittelt sind, sich unter den gleichen Versuchsbedingungen immer wiederholen lassen und somit gewissermaßen etwas Feststehendes bedeuten. Für die theoretische Auswertung vollends ist die Zuverlässigkeit der experimentellen Ergebnisse von grundsätzlicher Bedeutung.

Wie sehr dieser Standpunkt bei *Rubens* zur Geltung kam, ergibt sich daraus, daß unter der außerordentlich großen Zahl seiner Arbeiten keine einzige als vorläufige Mitteilung bezeichnet ist. Seinem auf die abgeschlossene Form und auf Exaktheit gerichteten Geiste widerstrebt es eben, etwas Unfertiges, später noch zu Berichtigendes herauszugeben. Charakteristisch für die Zuverlässigkeit seiner Arbeiten ist auch, daß keine vorhanden ist, die er widerrufen hat. Man braucht auch nur in seinen Arbeiten zu blättern und die vielen Hunderte von schönen, immer von ihm selbst sehr sorgfältig gezeichneten Kurven anzusehen, die sie enthalten. Wie eng liegen da immer die einzelnen beobachteten Punkte aneinander, damit auch ganz gewiß kein Irrtum über den wahren Verlauf bestehen bleibt, wie sorgfältig sind die Maxima und Minima in den vielen Interferenzkurven festgelegt, die er für Wellenlängenbestimmungen im Ultrarot aufgenommen hat. Gewiß wird die Freude am genauen Beobachten, das Stilgefühl für die schöne Form der Darstellung, neben der Sorge um die Genauigkeit des Resultates mitbestimmend gewesen sein, und

die Zahl der aufgenommenen Punkte manchmal vermehrt haben — der Leser von *Rubens* Arbeiten wird ihm immer dafür dankbar sein.

Das Bisherige wird es bereits gerechtfertigt erscheinen lassen, daß man die experimentierende Tätigkeit des Physikers als *Experimentierkunst* bezeichnet. Die Fähigkeit, das Wesentliche deutlich zu sehen und es durch Beseitigung störender Nebenumstände in die Erscheinung treten zu lassen, die Einfühlung in den Gegenstand und die Beherrschung des Materials, all diese Eigenschaften hat der Physiker mit dem Künstler gemeinsam. Ganz besonders deutlich wird das bei denjenigen Arbeiten von *Rubens*, welche zur Entdeckung neuer Erscheinungen führten. Hier erst kommt das schöpferische Element zur vollen Geltung, das auf dem Boden einer reichen Erfahrung, aber meist unter Überspringung logischer Schlußketten das Neue, Unbekannte aufdecken hilft.

Greifen wir von *Rubens* Arbeiten in dieser Richtung als Beispiel nur zwei seiner bekanntesten heraus: seine Reststrahlenmethode und die Quarzlinsenmethode zur Isolierung langer Wellen im Ultrarot. Bei der Reststrahlenmethode: wie erfolgreich war der Gedanke, durch Wiederholung der Reflexionen ein immer engeres Wellenlängenbereich auszusondern, aber welche Summe von theoretischer Erkenntnis und experimenteller Erfahrung, wieviel Materialkenntnis und wieviel glänzende experimentelle Methodik war die Basis, auf der dieser Gedanke entstehen konnte. Ebenso bei der Quarzlinsenmethode: die Benutzung der Differenz in den Brechungsexponenten des Quarzes, welche die gesuchten Strahlen sich konzentrieren, die übrigen aber sich zerstreuen ließ, die geschickte Anordnung der zentralen Blenden, alles dies sind Kunstgriffe, die, wenn man sie kennt, verblüffend einfach erscheinen, die zu finden aber eben die große Kunst ist. Bei den erwähnten beiden Arbeiten führten sie zur Entdeckung neuer Strahlen, die immer mit *Rubens* Namen verknüpft bleiben werden. Man blättere aber die große Zahl seiner Arbeiten durch; fast in jeder wird man Ähnliches finden, was ihn als Meister der Experimentierkunst kennzeichnet. Bleibende Denkmäler seiner Kunst sind auch die Apparate, die er selbst konstruiert hat und die heute in jedem Laboratorium zu finden sind. Seine lineare Thermosäule, sein Radiomikrometer, das mit *Du Bois* zusammen gebaute Panzer-galvanometer, man muß mit diesen Apparaten nur einmal gearbeitet haben, um zu erkennen, wieviel Scharfsinn, wieviel Erfindungsgeist in sie hineingelegt ist.

Es kann über *Rubens* als Physiker nicht geschrieben werden, ohne seiner Lieblingsbeschäftigung zu gedenken, bei der er in der freien Natur seine Erholung suchte: des edlen Segelsportes. An ihm hing er wohl mit derselben Liebe, wie an seiner Physik, der er die Arbeit seines Lebens

gewidmet hat. Kein Sport konnte auch besser seinen Anlagen und Neigungen entsprechen. Das aus schönem Material gebaute Boot mit seinen edlen Linien, dazu bestimmt, unter gleichartigen Genossen seinem Führer Gelegenheit zu geben, die Kräfte des Windes gegen den Widerstand von Wasser und Wellen möglichst vorteilhaft in Geschwindigkeit des Bootes umzusetzen, gab ihm zugleich eine physikalische und eine persönliche Aufgabe. Er hat auch hierbei vollen Erfolg gehabt. Von den Regatten, bei denen Boot und Führer auf die Probe gestellt werden, hat er eine große Zahl von Preisen, etwa 80, heimgebracht. Seinem Boote widmete er ungewöhnliche Sorgfalt. Sein Bootsmann hatte bei ihm einen harten Stand. Alles auf dem Boote mußte tadellos sauber sein, kein Fehler in der Lackierung, keine Schramme auf Deck durfte das schöne Bild stören. War das jeweilige Boot in seinen Eigenschaften neueren Konkurrenten nicht mehr ebenbürtig, so sann er auf einen Neubau, für dessen Linienriß er selbst die Angaben machte. Sechs größere Boote entstanden so im Laufe der Zeit. In seinem Arbeitszimmer gab es einen Tisch, auf dem er immer die Risse seiner Boote liegen hatte, und sehr gerne ließ er sich in Erörterungen über den jeweiligen geplanten Neubau ein. Die Regatten waren immer für ihn ein Ereignis, das er sehr ernst nahm. Alles bis aufs kleinste mußte sorgfältig vorbereitet sein. Während der Wettfahrt ging er ganz in der Führung des Bootes auf und ließ sich durch nichts ablenken. Selbst als ich ihn einmal auf einer Wettfahrt auf eine selten schöne Halo-Erscheinung an der Sonne auf-

merksam machte, wollte er davon nichts wissen. Auch photographieren durfte man während der Regatta nicht. Die genannten Erfolge seiner Regattatätigkeit zeigen, daß er auch in der Führung seines Bootes ein Meister war. Die ihm aus dem Laboratorium her geläufige Fähigkeit der Abschätzung der Kräfte, der Beurteilung des Materials, der übersichtlichen Disposition verhalfen ihm auch hier zum Siege.

Werfen wir noch einen Blick auf das Bild seiner Persönlichkeit, wie sie sich im Verkehr mit seinen Kollegen, seinen Assistenten und Mitarbeitern zeigte. Auch hier finden wir Eigenschaften, die ganz zu dem Bilde passen, welches wir uns von *Rubens* als Physiker machen konnten. Der hervorstechendste Zug seiner Persönlichkeit war seine Objektivität und sein Gerechtigkeitsgefühl, welches er jeder Persönlichkeit, die an ihn herantrat, jeder Arbeit, die er zu beurteilen hatte, entgegenbrachte. Hand in Hand damit ging eine Bescheidenheit, die ihm oft Zurückhaltung auferlegte. Aus solchen Charaktereigenschaften heraus kann man auch die Art und Weise, wie er sein Institut leitete, verstehen. Er vermied es, seinen Assistenten zu seinem Arbeitsgebiete herüberzuziehen; wer dagegen den Wunsch erkennen ließ oder einen Vorschlag brachte, den nahm er gerne auf. Sonst ließ er jeden arbeiten, was er wollte, unterstützte ihn aber dabei in jeder Weise.

So fügt sich alles zu dem Bilde der harmonischen Persönlichkeit zusammen, die allen unvergessen bleiben wird, die mit *Rubens* in Berührung gekommen sind und deren Einfluß noch lange fortwirken wird.

## Rubens und die Maxwellsche Theorie.

Von G. Hertz, Eindhoven.

Die Maxwellsche elektromagnetische Lichttheorie erklärt bekanntlich die Lichtwellen als elektromagnetische Wellen. Sie liefert ferner Beziehungen, durch welche das Verhalten materieller Körper elektrischen Wellen gegenüber aus den elektrischen und magnetischen Eigenschaften der Körper berechnet werden kann. Als wichtigste ergibt sie für Nichtleiter die Maxwellsche Beziehung zwischen Brechungsindex  $n$  und Dielektrizitätskonstante  $\epsilon$ , nämlich  $n^2 = \epsilon$ , das Quadrat des Brechungsindex ist gleich der Dielektrizitätskonstante. Für Leiter ergibt sie eine analoge Beziehung für das Reflexionsvermögen  $r$ , nämlich  $1 - r = \frac{2}{\sqrt{\sigma\tau}}$ , wobei  $\sigma$  die elektrische Leitfähigkeit und  $\tau$  die Schwingungsdauer der elektrischen Welle bedeutet.

In der Zeit, in welcher *Rubens* mit seinen experimentellen Arbeiten begann, hatte die Maxwellsche Theorie durch die Hertzschen Versuche mit elektrischen Wellen eine starke experimen-

telle Stütze erhalten. Andererseits aber zeigte sich sofort, daß von einem quantitativen Zusammenhang zwischen den optischen und elektrischen Eigenschaften der materiellen Körper im Sinne der obigen Beziehungen keine Rede sein konnte. Es bedurfte daher einerseits einer Erweiterung der Theorie, welche auch das Verhalten materieller Körper gegenüber elektrischen Wellen von der Wellenlänge der Lichtwellen umfaßte, und andererseits experimenteller Untersuchung, welche die kontinuierliche Änderung der dafür charakteristischen Konstanten mit der Wellenlänge in dem Gebiet zwischen elektrischen und optischen Wellen erforschte. Die erste ist durch die Dispersionstheorie geleistet worden, wahrscheinlich indessen noch nicht in endgültiger Weise, da die klassische Dispersionstheorie mit den heutigen Quantenvorstellungen nicht zu vereinigen scheint; die zweite bildete den wesentlichen Teil der Lebensarbeit von *Rubens* und ist von ihm in einer Exaktheit und Vollständigkeit



durchgeführt worden, daß durch sie die Wesensgleichheit von Lichtwellen und elektrischen Wellen unabhängig von jeder Theorie sichergestellt worden ist.

Schon *Rubens'* erste Arbeiten zeigen die Richtung, in welcher sich später sein in seltenem Maße geschlossenes und bis zur Vollendung durchgeführtes Lebenswerk entwickelte. Seine Dissertation über die selektive Reflexion der Metalle zeigte durch Messungen mit dem Bolometer, daß das Reflexionsvermögen der Metalle im allgemeinen nach dem Ultraroten zu zunimmt und daß hier gute Leiter im allgemeinen ein höheres Reflexionsvermögen zeigen als schlechte, daß sich also mit wachsender Wellenlänge die Reflexion der Metalle im Sinne einer Annäherung an das von der Maxwellschen Theorie geforderte Verhalten ändert. Seine zweite Arbeit behandelt die quantitative Untersuchung elektrischer Drahtwellen mit Hilfe des Bolometers, und diese Methode benutzt er kurz darauf gemeinsam mit *L. Arons* zur Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit, also auch des Brechungsindex von elektrischen Wellen in einigen Isolatoren, wobei die Maxwellsche Beziehung zwischen Dielektrizitätskonstante und Brechungsindex sich bei den meisten Stoffen als richtig erweist. Seine weiteren Untersuchungen mit dem Ziel der Überbrückung des damals noch unbekannten Gebietes zwischen kurzweiliger Wärmestrahlung und elektrischen Wellen bewegen sich fast ausschließlich in der Richtung der Isolierung und Untersuchung von Wärmestrahlen immer größerer Wellenlänge. Diesem Zwecke diente zu Anfang eine Reihe von Arbeiten über die Dispersion von Flußspat, Steinsalz und Sylvin. Diese Substanzen wurden dann später als Prismen in Spektrometern benutzt. Durch Verwendung eines empfindlichen Linienbolometers gelingt es, diese Messungen, bei denen die primäre Strahlung zunächst durch ein feines Drahtgitter spektral zerlegt wird, bis beinahe  $25\mu$  auszudehnen. Hier ist Flußspat bereits in dünnen Schichten vollkommen, Steinsalz beinahe vollkommen undurchlässig, und auch bei Sylvin ist die Absorption so stark, daß selbst mit spitzwinkligen Sylvinprismen die Untersuchung von Strahlung größerer Wellenlänge nicht möglich ist. Da auch mit Gittern ein Fortschritt in der Richtung größerer Wellenlänge wegen zu geringer Intensität nicht möglich war, so war die Grenze der gewöhnlichen spektrometrischen Methode damit erreicht. Es war daher ein großer Fortschritt, als 1897 durch die von *Rubens* gemeinsam mit *E. F. Nichols* ausgearbeitete Methode der Reststrahlen ein neuer Weg geöffnet wurde. Diese Methode beruht auf folgendem Gedanken: Die meisten durchsichtigen Kristalle zeigen im ultraroten Gebiete anomale Dispersion, deren ungefähre Lage sich aus ihrer Dispersion berechnen läßt. Solche Gebiete anomaler Dispersion sind gleichzeitig Gebiete außerordentlich starker selektiver Ab-

sorption und Reflexion. Das Reflexionsvermögen erreicht hier Werte wie die des Reflexionsvermögens der Metalle, man spricht daher auch von Gebieten metallischer Reflexion. Läßt man nun monochromatische Strahlung mehrere Male an Flächen einer solchen Substanz reflektieren, so wird sie bei dieser mehrfachen Reflexion im allgemeinen außerordentlich stark geschwächt, nur wenn ihre Wellenlänge innerhalb des Gebietes metallischer Reflexion der betreffenden Substanz liegt, wird sie ebenso reflektiert wie an Metallsiegeln und ihre Intensität daher nur in geringem Maße vermindert. Läßt man daher Strahlung aller Wellenlängen, also eine Strahlung, welche spektral zerlegt ein kontinuierliches Spektrum ergeben würde, auf diese Weise mehrfach an einer bestimmten Substanz reflektieren, so bleiben als Reststrahlen praktisch nur Strahlen derjenigen Wellenlänge zurück, welche dem Gebiet metallischer Reflexion der benutzten Substanz entspricht. Man erhält auf diese Weise annähernd monochromatische Strahlen von viel größerer Intensität, als es auf spektrometrischem Wege möglich wäre. Die ersten untersuchten Reststrahlen waren die von Quarz, Glimmer und Flußspat. Mit den Reststrahlen von Flußspat, deren Wellenlänge etwa  $25\mu$  beträgt, konnte bereits eine Reihe von Versuchen angestellt werden, welche zeigten, daß diese Strahlen sich bereits nahezu wie elektrische Wellen verhalten. Zum Beispiel konnte ihre selektive Reflexion an einem Resonatorengritter nachgewiesen werden. Kurz darauf wurden von *Rubens* gemeinsam mit *E. Aschkinä* die Reststrahlen von Steinsalz und von Sylvin untersucht und ihre Wellenlänge mit einem Drahtgitter zu  $51,2$  bzw.  $61,1\mu$  gemessen. Hierdurch war also wieder ein gewaltiger Fortschritt in der Richtung nach längeren Wellen hin erzielt. Bei diesem Fortschreiten nach längeren Wellen bot neben der Isolierung der langwelligen Strahlung auch die Frage der Lichtquelle eine Schwierigkeit, da in den meisten Lichtquellen die langwellige Wärmestrahlung nur einen so außerordentlich kleinen Bruchteil der Gesamtstrahlung ausmacht, daß es auch bei weitgehender Isolierung des langwelligen Anteils unmöglich ist, sich von der Störung durch die kurzweilige Strahlung freizumachen. Nur ein im langwelligen Gebiet ausgesprochen selektiver Strahler, wie er von *Rubens* im Auerbrenner gefunden wurde, konnte hier mit Erfolg benutzt werden.

Nach dem Verfahren der Reststrahlen sind einige Jahre später von *Rubens* gemeinsam mit *Hollnagel* Wärmestrahlen von noch erheblich größerer Wellenlänge isoliert worden. Bei Anwendung von Jodkalium als reflektierende Substanz ergab sich eine mittlere Wellenlänge der Reststrahlen von  $96,7\mu$ . Zur Wellenlängenmessung wurde hier an Stelle des nicht mehr genügende Intensität gebenden Gitters ein Quarzinterferometer benutzt. Später ist von *Rubens*,

zum Teil gemeinsam mit *v. Wartenberg*, noch eine große Anzahl von Substanzen nach der Reststrahlenmethode untersucht worden.

Die Benutzung des Quarzinterferometers zur Messung der Wellenlänge dieser sehr langen Wellen war dadurch möglich, daß die Frequenz dieser Wellen schon so klein gegenüber der kleinsten Dispersionsfrequenz des Quarzes ist, daß Quarz hier bereits wieder durchlässig ist. Gleichzeitig zeigt der Quarz in diesem Gebiet schon den sich aus der Maxwellschen Beziehung ergebenden sehr hohen Wert des Brechungsindex, und diese beiden Eigenschaften wurden von *Rubens* gemeinsam mit *R. W. Wood* zur Isolierung äußerst langwelliger Wärmestrahlen mit Hilfe von Quarzlinsen benutzt. Hierbei wurden die von einer Lichtquelle ausgehenden langwelligsten Wärmestrahlen auf dem Wege über ein Interferometer durch zwei Quarzlinsen unter Zwischenschaltung geeigneter Diaphragmen auf die Lötstelle des als Meßinstrument dienenden Mikroradiometers vereinigt. Infolge des großen Unterschiedes des Brechungsindex des Quarzes für Strahlen vor und hinter seinem langwelligsten Gebiet metallischer Reflexion werden hierbei alle Strahlen kleinerer Wellenlänge entweder durch den Quarz absorbiert oder durch die Diaphragmen aufgefangen. Aus der Strahlung eines Invert-Auer-Brenners wurde auf diese Weise ein langwelliger Anteil von einer Wellenlänge von etwa  $110\mu$  isoliert. Diese Methode zur Isolierung war nach langen Wellen zu unbegrenzt brauchbar, es fehlte nur eine geeignete Lichtquelle, welche Strahlen noch größerer Wellenlänge und genügender Intensität emittierte. Eine solche wurde von *Rubens* und *O. v. Baeyer* in der Quecksilberlampe gefunden, aus deren Strahlung eine aus zwei Gruppen von der Wellenlänge von 218 und  $343\mu$  bestehende, also außerordentlich langwellige Strahlung abgetrennt wurde. Durch Einschaltung geeigneter Filter konnte hiervon noch der langwelligere Anteil allein abgesondert werden. Diese Strahlung von  $\frac{1}{3}$  mm Wellenlänge zeigt nun, wie weiter unten dargelegt werden soll, bereits alle Eigenschaften der elektrischen Wellen, so daß es *Rubens* auf diese Weise tatsächlich gelungen ist, die Verbindung zwischen den optischen und den elektrischen Wellen herzustellen.

Gleichzeitig mit dieser immer fortschreitenden Erweiterung des zugänglichen Wellenlängenbereichs ging nun die Untersuchung des Verhaltens materieller Körper der Strahlung gegenüber, und mit jedem Schritt in der Richtung größerer Wellenlänge zeigte sich die fortschreitende Annäherung des Verhaltens der optischen Strahlung an das der elektrischen Wellen. Es handelt sich hierbei um drei Gruppen von Untersuchungen, die nebeneinander hergehen, deren Resultate wir aber der Übersichtlichkeit wegen nacheinander besprechen wollen: das Reflexions- und Emissionsvermögen der Metalle, der Brechungsindex

der Isolatoren und die Polarisation der durch Gitter ungebeugt hindurchgehenden Strahlung.

Die Untersuchung des Verhaltens der Metalle ist von *Rubens* gemeinsam mit *E. Hagen* in einer Reihe von Arbeiten durchgeführt worden, von denen die ersten das Reflexionsvermögen der Metalle betreffen. Während die ersten Messungen im kurzwelligen Ultrarot noch keine Übereinstimmung mit der Maxwellschen Theorie ergaben, finden sie, daß schon bei  $8\mu$  die Metalle sich ihrem Reflexionsvermögen nach in derselben Reihenfolge ordnen, wie nach ihrer Leitfähigkeit, und schon bei  $12\mu$  finden sie bereits zahlenmäßige Übereinstimmung zwischen den gemessenen und den nach *Maxwell* berechneten Werten des Reflexionsvermögens. Das Reflexionsvermögen der Metalle ist nun aber für alle Metalle, besonders bei größeren Wellen, eine von 1 wenig verschiedene Größe, die daher schwer mit großer Genauigkeit meßbar ist. Deshalb wurde in weiteren Arbeiten von *Hagen* und *Rubens* das mit dem Reflexionsvermögen eng zusammenhängende Emissionsvermögen untersucht. Nach dem Kirchhoffschen Satz ist die Summe des Reflexionsvermögens und des auf den schwarzen Körper bezogenen Emissionsvermögens gleich eins. Messungen des Emissionsvermögens verschiedener Metalle für Reststrahlen des Flußspats ( $25\mu$ ) ergaben in der Tat entsprechend der Maxwellschen Theorie das Emissionsvermögen umgekehrt proportional der Wurzel aus dem Leitvermögen. Außer reinen Metallen wurden auch Legierungen untersucht, und endlich wurde gezeigt, daß auch bei Änderung der Temperatur und der damit verbundenen, bei manchen Metallen starken Änderung des Leitvermögens diese Beziehung zwischen Emissionsvermögen und Leitfähigkeit erhalten bleibt.

Während somit bei den Metallen schon bei  $25\mu$  der Punkt erreicht ist, an welchem ihr Verhalten den Wärmestrahlen gegenüber quantitativ mit den Folgerungen der Maxwellschen Theorie übereinstimmt, tritt diese Übereinstimmung bei den meisten Isolatoren erst viel später ein. Der Grund liegt darin, daß die meisten Isolatoren noch im Bereich sehr großer Wellenlänge optisch wirksame Eigenschwingungen besitzen, also Gebiete anomaler Dispersion und metallischer Reflexion. Nach der Dispersionstheorie ist der Maxwellsche Wert des Brechungsindex erst jenseits des langwelligsten Absorptionsgebietes zu erwarten, und die Ergebnisse der Rubensschen Messungen haben diese Erwartung durchaus bestätigt. Auf Einzelheiten einzugehen, ist hier unmöglich, es mag daher nur als Gesamtergebnis der Rubensschen Arbeiten auf diesem Gebiete die Tatsache angegeben werden, daß sich in der Tat sämtliche untersuchte feste Körper gegenüber den längsten Wärmestrahlen genau so verhalten wie gegen elektrische Wellen, und daß in Übereinstimmung mit der Dispersionstheorie dieses Verhalten mit wachsender Wellenlänge nach Durch-



schreiten des langwelligsten Absorptionsgebietes erreicht wird. Von besonderem Interesse sind in dieser Richtung auch noch die Rubensschen Arbeiten seiner letzten Jahre, zum Teil gemeinsam mit *Th. Liebisch*, in welchen der Verlauf des Brechungsindex im Ultraroten auch für kompliziertere Kristalle für die verschiedenen Schwingungsrichtungen verfolgt wird. Hier waren zum Teil die zum Vergleich mit der Theorie nötigen elektrischen Konstanten noch nicht bekannt und mußten daher erst bestimmt werden. Das Gesamtergebnis war auch hier, daß das optische Verhalten mit zunehmender Wellenlänge kontinuierlich in das der elektrischen Wellen übergeht.

Etwas anders liegen die Verhältnisse bei den isolierenden Flüssigkeiten. Hier zeigen nämlich die meisten auch für die längsten Rubensschen Wärmestrahlen noch nicht den Wert des Brechungsindex, wie er sich nach *Maxwell* aus der statisch gemessenen Dielektrizitätskonstante berechnet. Sie zeigen vielmehr auch hier noch Dispersion. Diese Dispersion, welche sich bis in das Gebiet kurzer elektrischer Wellen fortsetzt, ist durch die Theorie von *Debye* erklärt als Folge des Dipolcharakters der Moleküle dieser Flüssigkeiten.

Das Gebiet der Gitterpolarisation unterscheidet sich von den bisher besprochenen Erscheinungen dadurch, daß hier die Theorie des untersuchten Phänomens noch nicht vollkommen durchgeführt ist. Hier bestand die Diskrepanz daher nicht zwischen der Folgerung aus der Theorie und dem experimentellen Befund, sondern in dem Gegensatz zwischen dem, was das Experiment mit elektrischen und mit optischen Wellen ergeben hatte. Für elektrische Wellen hatte *Hertz* gefunden, daß sie beim Durchgang durch Gitter vollkommen polarisiert werden, und zwar derart, daß ein solches Gitter undurchlässig ist für elektrische Wellen, deren elektrischer Vektor den Gitterstäben parallel liegt. Im optischen Spektrum hatte *du Bois* genau das Gegenteil gefunden.

Daß dieser Widerspruch nur scheinbar ist, ist durch *Rubens* gemeinsam mit *du Bois* in einer Reihe von Arbeiten nachgewiesen worden, welche zeigen, daß auch hier ein kontinuierlicher Übergang von den optischen zu den elektrischen Wellen besteht. Solange die Wellenlänge klein ist oder von der Größenordnung der Gitterkonstante, tritt der von *du Bois* beobachtete Effekt auf; ist sie groß gegen die Gitterkonstante, so zeigen die Wellen das von *Hertz* gefundene Verhalten. Die langwelligsten Wärmestrahlen von *Rubens* werden durch feine Drahtgitter bereits vollständig polarisiert.

Zusammenfassend kann man sagen, daß, wenn auch nach den Rubensschen Arbeiten noch ein kleines Wellenlängengebiet zwischen den längsten bekannten Wärmestrahlen und den kürzesten bisher erzeugten elektrischen Wellen übrig bleibt, das Ziel der Rubensschen Untersuchung doch in vollem Maße erreicht ist. Die Grenze des der Messung zugänglichen Gebietes der Wärmestrahlen ist durch ihn nämlich bis zu so großen Wellenlängen hinausgeschoben worden, daß diese längsten Wellen bereits in jeder Beziehung die Eigenschaften der elektrischen Wellen zeigen, so daß an ihrer Identität kein Zweifel mehr möglich ist. Dadurch, daß gleichzeitig der kontinuierliche Übergang von den optischen Lichtwellen bis zu den längsten Wärmewellen in bezug auf alle wesentlichen Eigenschaften festgestellt ist, ist der elektromagnetischen Lichttheorie die höchste Sicherheit gegeben worden, die für eine Theorie überhaupt möglich ist. Es verdient darauf hingewiesen zu werden, daß die theoretischen Stützen der elektromagnetischen Lichttheorie, wie die Theorie der Dispersion und der elektro- und magneto-optischen Erscheinungen, ihren Wert als Stützen gerade der Maxwellschen Theorie infolge der neueren Entwicklung der Quantentheorie zum großen Teil verloren haben. Ohne die Rubensschen Arbeiten wäre die elektromagnetische Lichttheorie auch heute noch eine Hypothese.

## Die Entdeckung der langwelligen Strahlung des Quecksilberdampfes durch Rubens.

Von O. v. Baeyer, Berlin.

*Heinrich Rubens* hat einen großen Teil seiner wissenschaftlichen Arbeit einem Ziel gewidmet, nämlich der Bestätigung der elektromagnetischen Lichttheorie. Wie er, fußend auf den grundlegenden Arbeiten von *Heinrich Hertz*, Schritt für Schritt neue Beweisstücke für diese Theorie geliefert hat, das schildert er selbst in meisterhaft klarer Weise in einem Festvortrag, den er am 25. Juni 1917 in der preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin gehalten hat.

Die Maxwellsche elektromagnetische Licht-

theorie geht von der Annahme aus, daß elektrisch hergestellte Wellen, wie wir sie heutzutage in der drahtlosen Telegraphie verwenden, Wärme- und Lichtwellen ein und derselbe Vorgang sind, der sich nur durch die Schnelligkeit der Schwingungen oder, was dasselbe bedeutet, die Größe der Wellenlänge unterscheidet und deshalb zusammenfassend als elektromagnetische Welle bezeichnet wird. Es müßten danach auch die optischen Eigenschaften der Körper, also z. B. der Brechungsindex, das Absorptions-, Re-

flexions- und Emissionsvermögen der Körper für Wärmestrahlen und für elektrische Wellen gleicher Wellenlänge identisch sein. Experimentell läßt sich diese Forderung aber nicht prüfen, da es nicht möglich ist, Wärmestrahlen und elektrische Strahlen gleicher Wellenlänge herzustellen. Aber auch für elektromagnetische Wellen verschiedener Wellenlänge ergibt die Theorie einfache Beziehungen zwischen den optischen und den elektrischen Konstanten der Körper. Diese Beziehungen hat *Rubens* geprüft, zuerst mit Wärmestrahlen von  $1,25 \mu$  Wellenlänge später in den berühmten mit *E. Hagen* ausgeführten Versuchen mit Wärmestrahlen von  $25,5 \mu$  Wellenlänge. Das Ergebnis war, daß sich das Emissionsvermögen aller Metalle mit einer einzigen Ausnahme (Wismut) für diese Strahlen berechnen läßt aus der elektrischen Leitfähigkeit. Bei vielen anderen festen und flüssigen Körpern versagen aber die einfachsten Maxwellschen Beziehungen. Es liegt dies daran, daß die betr. Körper in dem Wellenlängengebiet zwischen  $25,5 \mu$  und den elektrischen Wellen Absorptionserscheinungen zeigen, die durch den molekularen Bau der Materie bedingt sind. Die Maxwellsche Theorie betrachtet die Materie als Kontinuum und kann deshalb diese Einflüsse nicht berücksichtigen. Ein Beispiel für das merkwürdige Verhalten mancher Körper ist z. B. das Wasser, dessen Berechnungsexponent im optischen Gebiet 1,33, im elektrischen Gebiet 9 ist, ohne daß man bis jetzt mit Sicherheit hat feststellen können, wo sich der Übergang vollzieht.

Auf Grund dieser Betrachtungen ist es verständlich, daß *Rubens* sich immer mit der Aufgabe beschäftigt hat, die Kluft zwischen elektrischer und Wärme der ultraroten Wellen zu überbrücken. Naturgemäß sind zwei Wege möglich, man kann versuchen einerseits die Wellenlänge elektrisch erzeugter Schwingungen zu verkleinern oder andererseits Wärmestrahlen größerer Wellenlänge zu isolieren. Beide Wege hat *Rubens* zu beschreiben versucht. In der Zeit, als er noch an der technischen Hochschule Charlottenburg wirkte, hat er, wie ich aus seinen Gesprächen entnahm, Versuche mit elektrischen Wellen angestellt. Er wollte eine elektrische Entladung durch Metallstücke aller möglichen Größen hindurch gehen lassen und hoffte auf diese Weise kurze elektrische Wellen zu bekommen. Später hat der Verfasser dieses Berichtes auf seine Veranlassung hin sich längere Zeit mit der Herstellung kurzer elektrischer Wellen beschäftigt. Es gelang auch, den damaligen „Weltrekord“ zu schlagen, indem elektrische Wellen von 2 mm Wellenlänge nachgewiesen werden konnten. Leider war es unmöglich wegen der Inkonstanz und Launenhaftigkeit der Erscheinung quantitative Messungen auszuführen. *Rubens* interessierte sich lebhaft für diese Arbeiten, die wegen der erwähnten Schwierigkeiten nicht zu dem erwünschten Abschluß ge-

bracht werden konnten. Noch in den letzten Jahren hat er des öfteren die Absicht geäußert, die Versuche fortzuführen. Er erhoffte Erfolge von der Anwendung hohen Gasdruckes, in dem der die Schwingung erzeugende Funke überspringen sollte.

In derselben Zeit, in der ich an den erwähnten Versuchen arbeitete, begann *Rubens* selbst, wie er sagte, „den Tunnel an der anderen Seite anzubohren“, und zwar mit sehr viel größerem Erfolg. Es gelang ihm in Gemeinschaft mit *Wood* 1910 bis zu Wellenlängen von etwa  $100 \mu$  vorzudringen. Diese Arbeiten waren die Grundlage und die Voraussetzung für das Gelingen der späteren Versuche. Denn hier wurden die experimentellen Methoden zur Isolierung, dem Nachweis und der Messung der Wellenlänge solcher äußerst langwelliger Wärmestrahlen ausgebildet. Zur Absonderung des langwelligen Teiles aus der Gesamtstrahlung eines Auerbrenners wurde die sogenannte Quarzlinsenmethode verwendet, die gegenüber den sonst üblichen Prismen oder Gittermethoden den Vorteil bietet, mit sehr geringem Energieverlust zu arbeiten. Sie beruht darauf, daß Quarz für Wärmestrahlen oberhalb  $80 \mu$  Wellenlänge denselben Brechungsexponent wie für elektrische Wellen besitzt, nämlich 2,14, während für kürzere Wellen der Brechungsexponent dem optischen Wert 1,5 nahe liegt. Außerdem unterstützt die starke Absorption des Quarzes für die kurzwellige Wärmestrahlung die Absonderung der langwelligen.

Zum Nachweis und zur Messung der Energie hatte *Rubens* das sogenannte Radiomikrometer zu großer Vollkommenheit ausgebaut. Die Empfindlichkeit dieses Instrumentes wurde unter Mitarbeit des vortrefflichen Institutsmechanikers Herrn *Muselius* wesentlich gesteigert, und vor allem die Ruhelage verbessert. Interessant war die Tatsache, daß die geringen, durch Druckänderung der Atmosphäre bedingten Temperaturschwankungen diese Instrumente stark beeinflussen. Luftdichter Abschluß bewirkt sofort den Fortfall dieser Störung. Zur Wellenlängenmessung wurde ein Interferometer gebaut, zwei Platten aus Quarz, deren Abstand durch eine feine Schraube, genau meßbar, verändert werden konnte.

Dieses Instrumentarium stand im Winter 1910/11 zur Verfügung, als *Rubens* mir den Vorschlag machte, gemeinsam mit ihm nach Strahlungsquellen zu suchen, die möglichst langwellige Wärmestrahlen aussenden. Theoretische Gesichtspunkte konnten hierbei kaum Fingerzeige geben, in welcher Richtung zu suchen sei. Sollte ein Temperaturstrahler in Frage kommen, so mußte man jedenfalls Quellen von sehr hoher Temperatur verwenden, da der absolute Wert der Wärmestrahlungsenergie mit der Temperatur steigt. Sollte die Strahlung eine Lumineszenzstrahlung sein, so war nach den damaligen



Kenntnissen überhaupt nichts vorauszusagen. Es mußten also auf gut Glück alle möglichen Strahlungsquellen probiert werden. Begonnen wurde mit sehr kräftigen Funken, die von einem Resonanztransformator mit einer *Leidener* Flaschenbatterie geliefert wurden. Der Lärm, den diese Funkenstrecke erzeugte, war im wahren Sinne des Wortes ohrenbetäubend. Man mußte Watte in die Ohren stopfen, um überhaupt arbeiten zu können. Die ersten Versuche sahen vielversprechend aus. Man bekam einen mächtigen Ausschlag im Radiomikrometer, als die Strahlung der Funkenstrecke durch einen Hohlspiegel in das Radiomikrometer gesandt wurde. Aber leider zeigte es sich sofort, daß die Richtung des Ausschlages nicht eine Temperaturerhöhung, sondern einer Temperaturverminderung entsprach. Wir hatten, wie *Rubens* lachend meinte, eine „Kältestrahlung“ vor uns. Sehr schnell wurde die wahre Natur dieser Erscheinung geklärt, es waren sehr schnelle Schallschwingungen, die sich ebenso in Lichtwellen durch Hohlspiegel konzentrieren lassen und dann durch ganz enge Öffnungen hindurchtreten können. Die Wirkung auf das Meßinstrument war die Folge des Schalldruckes, der bei der zufälligen Form des der Strahlung ausgesetzten Teils glücklicherweise eine Drehung nach der „Kälte-seite“ bewirkt, andernfalls wäre wohl die Klärung des Effektes nicht so schnell erfolgt. Einschalten einer genügenden Quarz- oder Papierschicht ließ den Kälteauschlag verschwinden. Es war aber auch keine Wärmestrahlung da. Alle möglichen Materialien wurden als Elektroden der Funkenstrecke verwendet: nichts. Noch eine ganze Reihe von anderen Strahlungsquellen wurden untersucht, Lichtbogen mit salzgetränkten Kohlen, Lichtbogen zwischen Metallelektroden, Röntgenröhren, Kanalstrahlenröhren. Aber alles umsonst! Nie mehr als höchstens einig Zehntel Skalenteil-ausschlag. Es erschien hoffnungslos. Da tauchte die Idee auf, die Quarzquecksilberlampe zu probieren. Solche Lampen waren in mehreren Exemplaren im Institut vorhanden, da in dieser Zeit eine Reihe von lichtelektrischen Arbeiten im Gange waren. *Rubens* hatte kein rechtes Zutrauen mehr auf einen Glückstreffer. Er ließ mich den Versuch selbst ausführen und verschwand in das Schreibzimmer. Ein schneller Blick ins Fernrohr und ich gehe in das andere Zimmer, wo mich *Rubens* mit freundlichem, aber spöttischem Lächeln fragt: Nun, sinds 100 Skalenteile? Worauf ich in gewohnter Ruhe antworte: Nein, aber zwanzig!

Sofort unterbricht *Rubens* seine schriftlichen Arbeiten, und es dauert nur wenige Stunden, bis die neue Strahlung auf ihre Eigenschaften wenigstens im großen und ganzen untersucht ist. Sie wird beim Durchgang durch schwarzes Papier weniger geschwächt wie die Strahlung von 100  $\mu$  Wellenlänge, dasselbe ergibt sich beim Durch-

gang durch amorphen Quarz. Ein Verhalten, das jedenfalls auf das Vorhandensein längerer Wellenlängen hindeutet. Die nächsten Wochen werden nun in intensiver Arbeit der genauen Untersuchung der neuen Strahlung gewidmet. Der Interferometer wird eingeschaltet und damit die Wellenlänge der Strahlung ermittelt.

Es ergab sich, daß die Quarzquecksilberlampe einen ganzen Komplex von Wärmestrahlen verschiedener Wellenlänge aussendet. Durch geeignete Filterung mit Quarz oder schwarzem Karton ließen sich die kürzeren Wellenlängen, die offenbar von der Strahlung der heißen Quarzwände der Lampe herrühren, aussieben und es blieb eine äußerst langwellige Strahlung übrig, die wesentliche Intensität bei den Wellenlängen 218  $\mu$  und 343  $\mu$  aufwies. Damit war mit einem Schlag das Wärmespektrum um mehr wie 1½ Oktaven erweitert.

Ich übergehe hier die Einzelheiten der weiteren Untersuchungen, die zuerst in zwei Abhandlungen in den Berichten der preußischen Akademie der Wissenschaften 1911 niedergelegt sind. Es sei nur erwähnt, daß von der durch 0,4 mm dicken schwarzen Karton gefilterten Strahlung 37 % der Intensität noch durch einen weiteren solchen Karton hindurch gehen, nach Filterung durch 5 cm Quarz sogar 60 %, während die Strahlung von 100  $\mu$  nur zu 2 % von ebendemselben Karton hindurchgelassen wird.

Von prinzipieller Bedeutung war noch der Nachweis, daß die Strahlung tatsächlich von dem leuchtenden Quecksilberdampf herrührt. Es wurde dies dadurch festgestellt, daß die langwellige Strahlung nach dem Verlöschen der Lampe sofort verschwindet. Späterhin (1913) durfte ich noch an einer Untersuchung teilnehmen, bei der nachgewiesen wurde, daß die Strahlung von 218  $\mu$  Wellenlänge von Wasserdampf nur wenig absorbiert wird, die Strahlung von 343  $\mu$  Wellenlänge fast gar nicht, ganz im Gegensatz zu den kurzwelligeren Strahlen, die zum Teil in sehr intensiver Weise von Wasserdampf verschluckt werden.

Bei all diesen Untersuchungen hatte ich Gelegenheit, die Arbeitsweise von *Heinrich Rubens* aus nächster Nähe kennen zu lernen. Bewundernswert war es, wie er als vielgeplagter Ordinarius der großen Berliner Universität Zeit und Kraft fand, nachmittags bis in die späte Nacht die Messungsreihen durchzuführen. Dabei erforderten diese Messungen ein ungewöhnliches Maß von Geduld und Ausdauer. Man muß nur bedenken, daß für eine einzige der zahlreichen Interferometerkurven manchmal 100 und mehr Punkte gemessen wurden. Jeder Punkt war wieder das Resultat minst zweier Einzelmessungen. Dabei waren die Ausschläge der Größe nach in günstigen Fällen 50 Skalenteile, manchmal aber nur fünf bis zehn Skalenteile, so daß es auf die zehntel Skalenteile ankam.

Da das Radiomikrometer nie ganz ruhig steht, sondern, abgesehen von kleinen unregelmäßigen Störungen, fast immer einen gleichmäßigen Gang zeigt, wurde der sogenannte ballistische Ausschlag beim Zutritt der Strahlung beobachtet, dann aber noch nach dem Abblenden der Strahlung der Rückgang des Ausschlages im Fernrohr verfolgt und aus den so gewonnenen Werten das Mittel genommen. Erst durch diese Ablesungsart ließ sich die erstaunliche Präzision der Messungen erzielen.

Die Isolierung der Wärmestrahlen von 0,34 mm Wellenlänge gestattete nun, die Maxwellsche Theorie in viel weitgehender Weise zu bestätigen, als es früher möglich war. In dem erwähnten Festvortrag von *Rubens* sind die Ergebnisse seiner Arbeiten in dieser Hinsicht bis 1917 zusammengestellt. Bei 35 festen Körpern, darunter 20 Kristallen, konnte er den Anschluß an

die elektrischen Messungen herstellen, ebenso bei einigen Flüssigkeiten, während bei einer ganzen Reihe von anderen Flüssigkeiten, wie Wasser, Alkohol, Glycerin, die Brücke noch nicht geschlagen werden konnte. Hier sind eben noch Absorptionsgebiete bei noch größeren Wellenlängen vorhanden, wie dies auch schon aus elektrischen Messungen bekannt war.

Jedenfalls erkennt man aus solchen Betrachtungen so recht, welchen Verlust die Physik durch den Tod von *Heinrich Rubens* erlitten hat. Denn wie kaum ein anderer hat er es verstanden, um ein Gleichnis von *Heinrich Hertz* zu gebrauchen, Pfeiler auf Pfeiler zu erbauen für das Gewölbe, das sich von den optischen nach den elektrischen Wellen erstrecken sollte, und sicherlich hätte er den Schlußstein in diesem Bau eingefügt, hätte nicht ein bitteres Schicksal den Baumeister vorzeitig abberufen.

## Rubens und die Quantentheorie.

Von J. Franck und R. Pohl, Göttingen.

Wenn ein bedeutender Gelehrter aus dem Leben scheidet und seine Schüler und Freunde daran gehen, einen Überblick über sein Lebenswerk zu geben, so ergibt sich oft eine sehr starke Verschiedenheit in der Bewertung der Wichtigkeit der verschiedenen Teilgebiete seiner Forschungstätigkeit. Jeder ist eben geneigt, das als das Wichtigste anzusehen, was seinem eigenen Ideenkreis am nächsten steht. Das geht, wie es das Beispiel von *Helmholtz* lehrt, manchmal so weit, daß selbst die Disziplin, zu der man den Forscher vor allem zu rechnen wünscht, je nach dem Standpunkt des Berichterstatters verschieden ist. Einen solchen Zweifel kann es bei der Besprechung des Lebenswerkes von *Heinrich Rubens* nicht geben, er war Experimentalphysiker, und zwar ein reiner Experimentalphysiker von höchstem Range. Da mag es denn bei der Durchsicht der Titel der Aufsätze, die in diesem Hefte der „Naturwissenschaften“ zu seinem Andenken vereinigt sind, verwunderlich erscheinen, daß die meisten den Namen einer physikalischen Theorie als Überschrift enthalten. In der Tat gibt es zwei verschiedene Arten, Experimentalphysik als Forschungsgebiet zu betreiben, die gerade durch ihr Verhältnis zur theoretischen Physik am besten bezeichnet werden. Die eine von ihnen nimmt die Vorstellungsweise der theoretischen Physik insoweit zur Kenntnis, als sie naturgemäß bemüht sein muß, nicht mit ihr in Konflikt zu geraten, sucht aber im übrigen neue Tatsachen auf rein experimentelle Weise aufzufinden, ohne die Absicht, das Einzelexperiment einem größeren theoretischen Gesamtkomplex anzugliedern. Dieser Art der Forschungsrichtung verdanken wir viele unerwartete Entdeckungen, aber sie

liefert andererseits auch viel Leerlaufarbeit. Die zweite Art von Experimentaluntersuchungen wird unternommen, um sich mit einer theoretisch begründeten Vorstellungswelt auseinanderzusetzen, sie an Hand der Erfahrung zu prüfen, zu bestätigen oder zu widerlegen. Es könnte scheinen, als ob sie so nur eine Dienerin der theoretischen Physik, eine Wissenschaft geringeren Grades sei, das ist jedoch ein Fehlschluß. Diese Art des experimentellen Forschens folgt nicht blind der Fragestellung der Theorie, sondern sie zieht Folgerungen aus ihr, und sie eilt daher meistens der mathematisch-theoretischen Durcharbeitung des Gebietes weit voraus. Diese letztere Art der Experimentalphysik ist es, in der *Rubens* Meister war, und aus dieser Einstellung entspringt die Verknüpfung seiner Leistungen mit der modernen Vorstellungswelt der theoretischen Physik, sowohl der Zusammenhang mit der Maxwellschen Theorie, der in einem anderen Artikel geschildert wird, wie auch derjenige mit der Quantentheorie, die zum Teil in *Hettners* Aufsatz, zum Teil in diesen Zeilen dargestellt werden soll.

Man kann das Zusammenarbeiten von experimenteller Forschung mit der theoretischen Anschauung in der Quantentheorie geradezu als ein klassisches Beispiel dafür betrachten, wie sehr diese beiden Zweige unserer Wissenschaft aufeinander angewiesen sind und sich gegenseitig bei harmonischem Zusammenwirken ergänzen. Da ist zuerst an die Patenschaft der Experimentatoren, von denen *Rubens* einer war, bei der Aufstellung der Strahlungsgleichung des schwarzen Körpers zu denken (siehe *Hettner* und das Planckheft<sup>1)</sup>). Es genügt daher hier, den Zu-

<sup>1)</sup> Diese Zeitschrift S. 1033.



sammenhang kurz mit einigen Worten zu rekapitulieren, soweit er für das Verständnis des Folgenden wichtig ist. Für die sogenannte Temperaturstrahlung eines schwarzen Körpers war von W. Wien (später auch von Rayleigh und Jeans) eine Gleichung aufgestellt, die die Intensitätsverteilung der Strahlung über das Spektrum in Abhängigkeit von der Temperatur wiedergeben sollte. Genaue Messungen vor allem von Lummer und Pringsheim ergaben zuerst im Gebiet der langwelligen ultraroten Strahlung kleine Abweichungen von der Wienschen Formel, die um so größer wurden, je weiter man ins Ultrarote vordrang. Rubens, der gerade damals durch Messungen mit langwelligem ultraroten Licht (siehe Rubens und die Maxwellsche Theorie) neue wesentliche Stützen für die elektromagnetische Natur des Lichtes erbracht hatte, war in dieser kritischen Periode im Zusammenhang mit Kurlbaum ebenfalls mit Strahlungsmessungen in diesem Spektralbereich beschäftigt, die auch einen Widerspruch gegen die Wiensche Formel zu ergeben schienen. Unterdes war Planck in einer Theorie der Strahlungsvorgänge, die in strenger Weise auf den klassischen Gesetzen des Elektromagnetismus aufbaute und gewisse nicht ganz einwandfreie Berechnungen von W. Wien vermied, wiederum zur Wienschen Gleichung gelangt. Um so wichtiger war es ihm, die Resultate der werdenden Arbeit von Rubens und Kurlbaum durch persönliche Fühlungnahme zu verfolgen. Noch während diese Arbeit im Gange war, entschloß sich Planck dazu, die klassischen Vorstellungen fallen zu lassen und durch die Annahme der Quantenhypothese die Strahlungsformel zu modifizieren. So erhielt er eine Strahlungsgleichung, die im gleichen Jahre 1900 durch die Arbeit von Rubens und Kurlbaum im langwelligen Gebiet aufs beste bestätigt wurde. Es ist nicht unsere Aufgabe, die weiteren glänzenden Bestätigungen dieser Gleichung durch Paschen, Warburg und schließlich wieder durch Rubens hier zu schildern, sondern wir müssen uns darauf beschränken, zu zeigen, wie die weitere Entwicklung der Quantentheorie immer wieder mit den Ergebnissen von Rubens' Arbeiten sich berührt. Bringen wir uns dazu die Grundhypothese der Quantentheorie in Erinnerung. Sie lautet:

Die Energie eines schwingungsfähigen Systems von der Eigenschwingungszahl  $\nu$  kann nicht beliebige Beträge annehmen, sondern nur ausgezeichnete Werte, die ein ganzzahliges Vielfaches des Energieelementes  $\epsilon = h\nu$  bilden.

Wendet man diesen Satz auf den Spezialfall der Lichtemission und Absorption an, so lautet er: ein elektrischer Oszillator, im einfachsten Falle ein um eine Ruhelage pendelndes, quasielastisch gebundenes Elektron kann nur ganze Vielfache von  $\epsilon$  absorbieren oder emittieren. Daß dieses Resultat den Folgerungen aus der klassischen Elektrodynamik vollkommen wider-

spricht, kann bei den Lesern dieser Zeitschrift als bekannt vorausgesetzt werden (siehe Planckheft), es widerspricht aber auch in gleicher Weise den Gesetzen der klassischen Statistik. Um das einzusehen, brauchen wir nur den idealisierten Oszillator mit einem in der Natur vorkommenden materiellen zu vertauschen. Als solchen können wir ein beliebiges heteropolares Molekül nehmen, das aus einem positiv und einem negativ geladenen Bestandteil besteht, die gegeneinander schwingen können.

Ein solches kann dann nicht mehr, wie es die statistische Mechanik fordert, alle möglichen Werte der Energie annehmen, die sich nach genau angebbaren Gesetzen statistisch um einen Mittelwert herumgruppieren, sondern nur quantenmäßig ausgebildete Werte. Betrachten wir nun einfache, in der Natur vorkommende Körper, die aus solchen heteropolaren Molekülen bestehen, wie z. B. die binären Salze NaCl, KCl, NaBr, KJ usw., in Kristallform, so haben wir ein Gebilde vor uns, das aus Oszillatoren besteht, denn die positiven Metallionen und die negativen Halogenionen können im festen Zustand keine anderen Bewegungen als Schwingungen um ihre Ruhelage ausführen. Hier macht also die Quantentheorie eine völlig andere Aussage über die Abhängigkeit der Schwingungsenergie des Gesamtkristalls von der Temperatur als die statistische Mechanik. Die Abhängigkeit der Schwingungsenergie von der Temperatur ist aber in diesem Falle nichts anderes als der Gang der spezifischen Wärme mit der Temperatur. Die Energie, die verbraucht wird, um die Masseneinheit des Kristalls um 1 Grad zu erwärmen, wird nur dazu verwandt, um die Schwingungsenergie zu vergrößern. Durch Untersuchung der spezifischen Wärme bei verschiedenen Temperaturen hat man eine weitere Möglichkeit gewonnen, die Grundhypothese der Quantentheorie zu prüfen, und zwar muß die Abweichung von den klassischen Gesetzen um so stärker sein, je mehr der Wert eines Energiequants  $h\nu$  vergleichbar wird der mittleren gesamten Schwingungsenergie eines der Oszillatoren oder größer als diese, d. h. bei tiefen Temperaturen resp. hohen Eigenfrequenzen. Wie aber kann man den Wert der Eigenfrequenz feststellen, der als wesentliche Unbekannte in die quantentheoretische Formel für die spezifische Wärme eingeht? Hier ist der Punkt, wo auf eine direkte Weise wiederum Resultate von Rubens' Arbeiten weiter helfen konnten. Die gesuchten Frequenzen ergeben sich nämlich als identisch mit den sogenannten Rubensschen Reststrahlungsfrequenzen. Was dieses Wort bedeutet und wie Rubens, unterstützt von seinem Schüler Nichols, die große Entdeckung der Reststrahlungsmethode machte, die schon ins Jahr 1897 fiel, ist in dem Aufsatz über den Zusammenhang von Rubens' Arbeiten mit der Maxwellschen Theorie in diesem Heft geschildert. Rufen wir uns daher nur in die Erinnerung zurück, daß

Reststrahlungsfrequenzen im ultraroten Spektralbereiche liegende Gebiete hoher, praktisch metallischer Absorption und Reflexion sind, so daß man durch mehrfache Spiegelung an Kristallflächen aus einem kontinuierlichen Spektrum weitgehend monochromatische Strahlen, eben die Reststrahlen des betreffenden Kristalls, aussieben kann. Nach der klassischen Elektrodynamik ist an dieser Stelle die einfallende Strahlung in Resonanz mit einer Eigenschwingung der Oszillatoren im Kristalle, die wir wiederum mit *Madelung* als Eigenschwingung der das Kristallgitter aufbauenden positiven und negativen Ionen anzusehen haben. Auf den genauen Ausbau dieses Teils der Quantentheorie, an dem wesentlich *Einstein*, *Nernst* und *Lindemann*, *Born* und *v. Kármán* und *Debye* teilgenommen haben, einzugehen, führt zu weit, die schließlich erhaltene Übereinstimmung mag aus einer Gegenüberstellung einiger aus thermischen Daten von *Born* und *Kármán* sich ergebenden Eigenfrequenzen, mit denen, die sich aus den Rubensschen Reststrahlungsmessungen berechnen lassen, hergehen:

|           | thermisch | optisch |
|-----------|-----------|---------|
| Steinsalz | 64,5      | 66,7    |
| Sylvin    | 77,0      | 78,0    |
| Flußpat   | 51,0      | 53,1    |

(Die Tabelle ist einer Arbeit von *K. Försterling*, Ann. d. Phys. 1920, S. 582, entnommen.)

Die Übereinstimmung darf in Anbetracht der großen rechnerischen Schwierigkeiten der Theorie gewiß als äußerst gut bezeichnet werden. Den Rubensschen Messungen über die Temperaturstrahlung des schwarzen Körpers reihen sich somit die Reststrahlungsmessungen in ihrer Bedeutung für den Ausbau der Quantentheorie fast ebenbürtig an. Aber noch ein drittes großes Gebiet, das *Rubens* bearbeitet hat, hat wesentliche Früchte für die Vertiefung der quantentheoretischen Vorstellungen gezeitigt. Es handelt sich um eine Reihe eigener und von seinen Schülern ausgeführter Messungen über die ultrarote Absorption heteropolarer Gase.

Der historische Hergang war der folgende: *Rubens* hatte gemeinsam mit *Hollnagel* gefunden, daß die Reststrahlen von Steinsalz, Sylvin und Bromkalium aus je zwei benachbarten Spektralstreifen bestanden, deren mittlere Wellenlänge zu 51,7, 63,4 und 82,3 angegeben wurden. Es schien eine Zeitlang, als ob diese Struktur der Reststrahlen, also zwei benachbarte statt nur einer Eigenschwingung einen besseren Anschluß an die Beobachtungen ergab, wenn man den Gang der spezifischen Wärme mit der Temperatur für die genannten Kristalle quantentheoretisch darstellen wollte. *Rubens* ließ sich jedoch auch hier, ebenso wenig wie sonst, nicht durch scheinbare Übereinstimmung mit der Theorie zu minder scharfer Kritik seiner eigenen Messungen verführen. Vielmehr hegte er Zweifel, ob seine und *Hollnagels* Beobachtungen wirklich im Sinne

zweier verschiedener Frequenzen im Kristallgitter zu deuten seien. Er fürchtete, daß es sich in Wirklichkeit um ein einheitliches Spektralgebiet handele, das durch äußere experimentelle Umstände in zwei Spektralstreifen zerlegt erscheine. Er dachte vor allem an eine Absorption im Wasserdampf der Zimmerluft, dessen kompliziertes Absorptionsspektrum er für Wellen unterhalb von  $9\mu$  aus *Paschens*, unterhalb  $20\mu$  aus eigenen mit *Aschkinä* angestellten Messungen kannte. Erneute Beobachtungen in scharf getrockneter Luft gaben seiner Vermutung Recht. Auch die Reststrahlen der genannten Kristalle bestehen nur aus einem einzigen breiten Spektralgebiet, der Aufbau aus zwei benachbarten getrennten Streifen war vorgetäuscht, weil in die Mitte der genannten Reststrahlgebiete ausgerechnet je eine Absorptionslinie des Wasserdampfes hineinfiel. *Rubens* mußte auf diese Weise eine auf die Quantentheorie gesetzte Hoffnung enttäuschen. Aber gleichzeitig sollte er gerade hierdurch zu Untersuchungen angeregt werden, die zu neuen glänzenden Bestätigungen der Quantenlehre führten; *Rubens* beschloß nämlich, den komplizierten Aufbau des Wasserdampfabsorptionsspektrums nunmehr im ganzen ihm zugänglichen Ultrarot von 1 bis  $334\mu$  mit seinen neuen experimentellen Methoden einheitlich zu durchforschen und seine Beobachtungen auch auf andere heteropolare Gase auszudehnen. *Burmeister*, *Hettner* und besonders *Eva von Bahr* beteiligten sich an diesen Untersuchungen. Ihre Bedeutung für die Quantentheorie wollen wir uns folgendermaßen klar machen:

In den heteropolaren Kristallen hatten wir oben die Schwingungen der positiven und negativen Ionen gegeneinander kennen gelernt. Durch analoge Schwingungen wird auch das ultrarote Spektrum der heteropolaren Moleküle in Dampfform hervorgerufen. Im Dampf können aber die heteropolaren Moleküle außer Schwingungen ihrer Atome gegeneinander noch Rotationsbewegungen um ihre Hauptträgheitsachsen ausführen. Nach der Rechenweise der klassischen Statistik sollten auch diese Rotationen alle möglichen Werte der Energie besitzen dürfen, die sich um einen von der Temperatur abhängigen Mittelwert herumgruppieren. Dieser Maxwellschen kontinuierlichen Verteilung der Rotationsenergien sollte nach den Grundgesetzen der Elektrodynamik ein *kontinuierliches* Absorptions- bzw. Emissionsspektrum entsprechen, dessen Lage sich aus dem Trägheitsmoment der Moleküle und der Temperatur eindeutig berechnen läßt. Nach den Grundsätzen der Quantentheorie müssen diese Rotationsspektren jedoch, worauf zuerst *Bjerrum* hingewiesen hat, im Gegensatz zur klassischen Theorie aus einer Reihe *diskreter Linien* bestehen.

Die Rotationsspektren sind in der Tat von *Rubens* beobachtet worden, sie liegen jedoch bei zu langen Wellen (beim HCl z. B. bei  $150\mu$ ),



um entscheiden zu lassen, ob es sich um kontinuierliche Spektren oder aus zahllosen Linien aufgebaute Banden handelt. Da hat nun Bjerrum erkannt, daß man die quantengemäße Linienstruktur der Rotationsspektren auf einfacherem Wege *indirekt* beweisen könne:

Bjerrum sah, daß man die im kurzwelligen, leicht zugänglichen Ultrarot gelegenen Absorptionsspektren heteropolarer Dämpfe nicht als einfache, den Reststrahlen analoge Schwingungsspektren zu deuten habe, sondern als *Schwingungsrotationsspektren*. Das soll heißen, daß sowohl Schwingungen der Ionen gegeneinander wie ihre gemeinsame Rotation als Molekül den optischen Strahlungsvorgang bestimmen. Nach der klassischen Theorie besagt das, daß wir außer einer Schwingungsfrequenz  $\nu_0$  noch zu beiden Seiten Frequenzen  $\nu_0 + \nu_r$  und Frequenzen  $\nu_0 - \nu_r$  erhalten, wenn  $\nu_r$  Frequenzen der Rotation bedeuten. Wir sollen also den Schwingungsabsorptionsstreifen  $\nu_0$ , der von gerade nicht rotierenden Molekülen herrührt, von zwei *kontinuierlichen Banden* eingerahmt finden, die von rotierenden Molekülen ausgesandt werden. Hat aber die Quantenauffassung recht, so dürfen wir nicht zu beiden

Seiten von  $\nu_0$  eine *kontinuierliche* Bande, sondern je eine aus *Linien* aufgebaute Bande beobachten. Derartige aus Linien aufgebaute Banden symmetrisch zu beiden Seiten einer Frequenz hat nun zuerst im Rubensschen Laboratorium Eva von Bahr aufgefunden. Weitere Arbeiten von Rubens und seinen Schülern haben die Erfolge vergrößert und damit das experimentelle Beweismaterial geliefert, daß auch die Rotationsenergie der Moleküle zu quanteln ist. Die Ergebnisse sind keineswegs nur qualitativer Natur, die genaue Ausmessung der Linien, besonders in letzter Zeit durch Imes in Amerika, hat eine weitgehende Übereinstimmung mit den an Bjerrum anknüpfenden Quantenrechnungen ergeben.

Diese kurzen Ausführungen mögen genügen, um uns den Einfluß von Rubens' Arbeiten auf die Entwicklung der Quantentheorie zu vergegenwärtigen. Insbesondere sind sie ein Beispiel für die Erfolge, die ein Experimentalphysiker dann erzielt, wenn er in dauernder Fühlung mit der Theorie bleibt, jedoch versteht, sich seine kritische Selbständigkeit zu erhalten und als letzte Instanz immer nur die experimentelle Erfahrung entscheiden zu lassen.

## Die Bedeutung von Rubens Arbeiten für die Plancksche Strahlungsformel.

Von G. Hettner, Berlin.

Im Jahre 1860 gelangte Gustav Kirchhoff in seiner berühmten Abhandlung „Über das Verhältnis zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärme und Licht“<sup>1)</sup> zu folgendem höchst bedeutsamen Ergebnis. Er betrachtete die Wärmestrahlung in einem allseitig von Körpern gleicher Temperatur umgebenen Raum im stationären Zustand und fand, daß die auf jede Wellenlänge entfallende Strahlungsintensität nur von der Temperatur jener Körper abhängt, aber nicht von deren sonstiger Beschaffenheit. Die Intensität dieser „Hohlraumstrahlung“ ist zugleich identisch mit der Intensität derjenigen Strahlung, die ein „absolut schwarzer“ Körper aussendet, d. h. ein Körper, der auf ihn fallende Strahlung jeder Wellenlänge vollständig absorbiert, und unterscheidet sich daher nur durch einen Zahlenfaktor von dem Emissionsvermögen eines solchen Körpers, d. h. derjenigen Energie, die die Einheit der Oberfläche in der Zeiteinheit ausstrahlt. Damit hatte Kirchhoff die Existenz einer universellen Funktion  $F(\lambda, T)$  der Wellenlänge  $\lambda$  und der Temperatur  $T$  erwiesen, die die Intensität der Hohlraumstrahlung oder das Emissionsvermögen eines absolut schwarzen Körpers darstellt. Es gibt zwar in der Natur keinen absolut schwarzen Körper. Aber nach dem Kirchhoffschen Gesetz von der Emission

und Absorption der Körper ergibt sich das Emissionsvermögen jedes beliebigen Körpers aus dem des schwarzen einfach durch Multiplikation mit dem Absorptionsvermögen jenes Körpers. Die Funktion  $F(\lambda, T)$ , die das Strahlungsgesetz des schwarzen Körpers ausspricht, ist also von der umfassendsten Bedeutung. Kirchhoff selbst sagt von ihr in der zitierten Abhandlung: „Es ist eine Aufgabe von hoher Wichtigkeit, diese Funktion zu finden. Der experimentellen Bestimmung derselben stehen große Schwierigkeiten im Wege; trotzdem scheint die Hoffnung begründet, sie durch Versuche ermitteln zu können, da sie unzweifelhaft von einfacher Form ist, wie alle Funktionen es sind, die nicht von den Eigenschaften einzelner Körper abhängen, und die man bisher kennen gelernt hat. Erst wenn diese Aufgabe gelöst ist, wird die ganze Fruchtbarkeit des bewiesenen Satzes sich zeigen können.“

Die Aufgabe war von höchstem Reiz. Aber es war ein weiter Weg bis zu ihrer Lösung; das Ziel sollte erst nach 40 Jahren erreicht werden. Das Aufsuchen des Strahlungsgesetzes bildet ein schönes Beispiel für die gegenseitige Befruchtung von Theorie und Experiment. Dabei spielen auf der experimentellen Seite Arbeiten von Heinrich Rubens eine entscheidende Rolle, und darum sei diese Entwicklung hier geschildert.

Die Gesamtstrahlung heißer Körper war schon seit Newton Gegenstand zahlreicher experimen-

<sup>1)</sup> Pogg. Ann. 109, 275, 1860; Ges. Abhdl. S. 571.

teller Untersuchungen. Es wurden verschiedene Gesetze aufgestellt und wieder verworfen. Im Jahre 1879 sprach *I. Stefan*<sup>2)</sup> auf Grund einer Kritik der bis dahin vorliegenden Messungen das Gesetz aus, daß die Gesamtstrahlung eines Körpers der 4. Potenz seiner absoluten Temperatur proportional sei. Die zahlreichen hierdurch angeregten Arbeiten bestätigten aber das Gesetz im allgemeinen nicht, nur die Versuche von *Schneebeli*<sup>3)</sup> zeigten genaueste Übereinstimmung mit dem Gesetz. Der Widerspruch klärte sich durch eine theoretische Arbeit von *L. Boltzmann*<sup>4)</sup> auf, in der er zeigte, daß der aus der Maxwell'schen Theorie gefolgerte Strahlungsdruck zusammen mit den beiden Hauptsätzen der Thermodynamik das Stefansche Gesetz abzuleiten gestatten, aber nur für den absolut schwarzen Körper. In der Tat hatte *Schneebeli*, ohne es zu wissen, Strahlungsquellen benutzt, die nahezu die Eigenschaften eines schwarzen Körpers besaßen.

Während das Stefan-Boltzmannsche Gesetz sowohl dem Experiment wie der Theorie zu danken war, wurde der nächste Fortschritt auf rein theoretischem Wege erzielt. Im Jahre 1893 konnte *Helmholtz* der Berliner Akademie der Wissenschaften eine Abhandlung von *W. Wien*<sup>5)</sup>, damals Assistent an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, vorlegen, in der dieser, wiederum auf Grund des Strahlungsdruckes und mit Hilfe thermodynamischer Gedankenexperimente, eine fundamentale Eigenschaft der Hohlraumstrahlung ableitete. *Wien* zeigte, daß man die Verteilung der Energie als Funktion der Wellenlänge für jede Temperatur angeben kann, sobald sie für eine Temperatur gegeben ist. Ist die Energieverteilung in Form einer Kurve dargestellt, so hat man, um zu einer anderen Temperatur überzugehen, die Ordinaten der Kurve in bestimmter Weise zu verschieben und ihre Höhe zu verändern. Das Gesetz heißt deshalb „Verschiebungsgesetz“. Es läßt sich am einfachsten so formulieren, daß

$$F(\lambda, T) = \frac{f(\lambda T)}{\lambda^5} \dots \dots \dots (1)$$

Die Funktion  $F$  der beiden Variablen  $\lambda$  und  $T$  wird also auf eine Funktion der einen Größe  $\lambda T$  zurückgeführt, was natürlich eine wesentliche Vereinfachung des Problems bedeutet.

Macht man von der Erfahrungstatsache Gebrauch, daß das Emissionsvermögen für jede Temperatur bei einer bestimmten Wellenlänge  $\lambda = \lambda_m$  ein Maximum besitzt, so folgt aus dem Verschiebungsgesetz unmittelbar die einfache Beziehung:

$$\lambda_m T = \text{const.} \dots \dots \dots (2)$$

In dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz der

Gesamtstrahlung und dem Wienschen Verschiebungsgesetz waren zwei wichtige Eigenschaften der Funktion  $F(\lambda, T)$  erkannt, aber damit war auch die Leistungsfähigkeit der Elektrodynamik und der Thermodynamik erschöpft, so daß weitere Fortschritte auf theoretischem Wege nur durch Zuhilfenahme besonderer Hypothesen zu erzielen waren. Die nächsten theoretischen Ergebnisse besaßen daher einen viel geringeren Grad von Sicherheit als jene beiden Gesetze. Nachdem *W. Michelson*<sup>6)</sup>, *H. F. Weber*<sup>7)</sup> und *R. V. Kövesligethy*<sup>8)</sup> Gesetze aufgestellt hatten, die schon durch die damals vorliegenden Messungen widerlegt wurden, gelangte *W. Wien*<sup>9)</sup> 1896 auf Grund ganz bestimmter molekular-theoretischer Hypothesen zu der Strahlungsformel:

$$E_{\lambda, T} = \frac{c_1}{\lambda^5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}} \dots \dots \dots (3)$$

Diese Formel gewann an Wahrscheinlichkeit durch Messungen von *F. Paschen*<sup>10)</sup> in Hannover, der die Spektren verschiedener fester Körper untersuchte. Seine Ergebnisse ließen sich um so besser durch die Formel darstellen, je schwärzer die strahlenden Oberflächen waren. Auch *M. Planck*<sup>11)</sup> wurde in einer Reihe von Arbeiten durch elektrodynamische und thermodynamische Betrachtungen und mit Hilfe seiner Hypothese der natürlichen Strahlung zu derselben Formel geführt. In seiner Ableitung hatte er allerdings eine Festsetzung über die Entropie eines elektrodynamischen Resonators machen müssen, die zwar die einzige zu sein schien, die mit den thermodynamischen Forderungen im Einklang war, ohne daß sich dies jedoch beweisen ließ.

Inzwischen aber war die Führung beim Aufsuchen der Strahlungsformel auf die experimentelle Forschung übergegangen. Diese hatte nämlich einen grundlegenden Fortschritt erzielt: es war gelungen, die Strahlung des schwarzen Körpers in aller Strenge zu realisieren. Die Kirchhoffsche Hohlraumtheorie gab hierzu einen deutlichen Fingerzeig, und man muß sich fast wundern, daß erst 1895 *W. Wien* und *O. Lummer*<sup>12)</sup> auf den Gedanken kamen, einen schwarzen Körper dadurch zu verwirklichen, „daß man einen Hohlraum auf möglichst gleichmäßige Temperatur bringt und seine Strahlung durch eine Öffnung nach außen gelangen läßt“. Erst seitdem war man imstande, wirklich „schwarze“ Strahlung experimentell zu untersuchen, denn

<sup>2)</sup> Journ. de Phys. 3, 467, 1887.

<sup>7)</sup> Berl. Ber. 1888, 933.

<sup>8)</sup> Grundzüge einer theoretischen Spektralanalyse, Halle 1890.

<sup>9)</sup> Wied. Ann. 58, 662, 1896.

<sup>10)</sup> Wied. Ann. 58, 455, 1896, und 60, 662, 1897.

<sup>11)</sup> Berl. Ber. 1897—99; Ann. d. Phys. 1, 69 u. 719, 1900.

<sup>12)</sup> Wied. Ann. 56, 451, 1895; gleichzeitig mit *Wien* u. *Lummer* kam *Ch. E. St. John* auf experimentellem Wege zu der Folgerung, daß Hohlräume wie schwarze Körper strahlen (Wied. Ann. 56, 433, 1895).

<sup>2)</sup> Wien. Akad. Ber. 79, 391, 1879.

<sup>3)</sup> Vierteljahrsschr. d. Züricher Naturf.-Ges. Bd. 19; Wied. Ann. 22, 430, 1884.

<sup>4)</sup> Wied. Ann. 22, 291, 1884.

<sup>5)</sup> Berl. Ber. 1893, 55.



die vorher benutzten geschwärzten Oberflächen besaßen stets, namentlich für lange Wellen, noch ein erhebliches Reflexionsvermögen. Auch ist die Messung der Temperatur bei einem Hohlraum sehr viel leichter auszuführen, als bei einer Oberfläche. Zunächst maßen *O. Lummer* und *E. Pringsheim*<sup>13)</sup> an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt die Gesamtstrahlung eines solchen „schwarzen“ Körpers und konnten das Stefan-Boltzmannsche Gesetz zwischen 290° und 1560° abs. bestätigen. Die ersten Messungen spektral zerlegter schwarzer Strahlung bilden eine Doktorarbeit von *H. Beckmann*<sup>14)</sup>, die auf Veranlassung und unter Leitung von *Rubens*, damals Professor an der Berliner Technischen Hochschule, in deren physikalischem Institut angefertigt wurde. *Rubens* hatte kurz vorher zusammen mit *Nichols* die Reststrahlenmethode<sup>15)</sup> zur Aussonderung langwelliger Strahlung erfunden und stellte diese nun sogleich in den Dienst der Strahlungsmessung. Die Anwendung langwelliger Strahlung bot den Vorteil, daß die Intensität schon bei verhältnismäßig niedriger Temperatur genügend groß ist. So wurde die Messung hoher Temperaturen, die damals noch nicht sehr exakt war, vermieden und außerdem die Möglichkeit geschaffen, die als schwarzer Körper dienende Hohlkugel von Flüssigkeitsbädern zu umgeben, was die Gleichmäßigkeit der Temperatur am besten gewährleistet. Die Inhomogenität der Reststrahlen ist unschädlich, da für so große Wellenlängen die Energiekurven einander so nahe geometrisch ähnlich sind, daß es genügt, mit einer mittleren Wellenlänge zu rechnen. *Beckmann* benutzte die Reststrahlen von Flußspat, deren mittlere Wellenlänge *Rubens* und *Nichols* zu 24,5  $\mu$  bestimmt hatten, und variierte die Temperatur von 193° bis 873° abs., das Produkt  $\lambda T$  lag bei seinen Messungen also zwischen etwa 5000 und 22 000. Er konnte seine Messungen durch die Wiensche Formel darstellen, wenn er der Konstanten  $c_2$  den Wert 24 250 beilegte, den *Rubens* später<sup>16)</sup> mit Rücksicht auf das inzwischen entdeckte langwelligere Maximum der Flußspatreststrahlen auf 26 000 korrigierte. Dieser Wert war aber ein ganz anderer als der von *Paschen* für kurze Wellen bei den erwähnten Versuchen gefundene Wert von etwa 14 000. *Rubens* ist sich der großen Tragweite dieses Befundes wohl bewußt gewesen, denn er hat *Beckmann* mehrmals zur Nachprüfung seiner Ergebnisse veranlaßt. Es lagen aber keine Versuchsfehler vor.

Dieser Arbeit, die im Sommer 1898 beendet war, folgten Messungen von *Lummer* und *Pringsheim*<sup>17)</sup>, über die *F. Kohlrausch* im November desselben Jahres der Berliner Akademie

berichtete. Die Strahlung eines elektrisch geheizten schwarzen Körpers wurde von etwa 800° bis 1400° abs. zwischen 1 und 6  $\mu$  gemessen, so daß  $\lambda T$  zwischen etwa 800 und 8400 variierte. Die Resultate ließen sich nicht genau durch die Wiensche Formel darstellen; namentlich zeigte die „Konstante“  $c_2$  einen Gang von 13 500 bis 16 500. *Lummer* und *Pringsheim* hielten es aber nicht für ausgeschlossen, daß dies auf Versuchsfehlern beruhte. Als höchst wahrscheinlich konnten sie jedoch die Ungültigkeit des Wienschen Gesetzes hinstellen, als sie im nächsten Jahre<sup>18)</sup> ihre Messungen bis 1646° und 8,3  $\mu$  ausdehnten. Die „Konstante“  $c_2$  ging jetzt bis 18 500.

Inzwischen hatte auch *Paschen*<sup>19)</sup>, z. T. gemeinsam mit *Wanner*, einige Arbeiten über die Energieverteilung der schwarzen Strahlung ausgeführt. Er maß die Strahlungsintensität im sichtbaren Gebiet photometrisch, im Ultrarot, wie *Lummer* und *Pringsheim*, bolometrisch und erreichte fast ebenso hohe Temperaturen und sogar noch etwas größere Wellenlängen als diese. Im Gegensatz zu ihnen aber fand er keine außerhalb der Beobachtungsfehler liegenden Abweichungen von der Wienschen Formel. Diese stellte vielmehr mit einem Wert von  $c_2$  gleich etwa 14 500 alle seine Beobachtungen recht gut dar.

Das nächste Jahr, 1900, sollte die Entscheidung bringen. *Lummer* und *Pringsheim*<sup>20)</sup> dehnten ihre Messungen mit Hilfe eines von *Rubens* geliehenen Sylvinprismas auf das Spektralgebiet von 12 bis 18  $\mu$  aus, unter Benutzung der von *Rubens* und *Trowbridge*<sup>21)</sup> am Sylvin ausgeführten Dispersionsbestimmungen. Auch das Temperaturintervall wurde noch weiter vergrößert, von 85° bis 1772° abs., so daß das Produkt  $\lambda T$  einen Wert von etwa 32 000 erreichte. Jetzt war schon die Darstellung einer einzelnen Isochromate, also der Energie als Funktion der Temperatur für eine bestimmte Wellenlänge, durch die Wiensche Formel unmöglich. Man hätte der „Konstanten“  $c_2$  Werte bis 27 600 geben müssen. Als *Pringsheim* im Februar 1900 in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft über die neuen Messungen berichtete, konnte er als Ergebnis feststellen, daß die Wiensche Formel nur ein Grenzesetz für kleine Werte von  $\lambda T$  ist.

Die Aufgabe war also nun die, möglichst genaue Untersuchungen für große Werte von  $\lambda T$  anzustellen. Dazu mußte man, da die Temperatur nicht mehr wesentlich zu steigern war, mit langwelliger Strahlung arbeiten. Hier griff nun wieder *Rubens*<sup>22)</sup> mit seiner Reststrahlenmethode und seiner reichen Erfahrung auf diesem Gebiet ein. Zusammen mit *F. Kurlbaum* machte er

13) Wied. Ann. 63, 395, 1897.

14) Inaug.-Diss. Tübingen 1898.

15) Naturwiss. Rdsch. 11, 545, 1896.

16) Wied. Ann. 69, 582, 1899.

17) Verh. Phys. Ges. 1, 23, 1899.

18) Verh. Phys. Ges. 1, 215, 1899.

19) Berl. Ber. 1899, 5, 405 u. 959.

20) Verh. Phys. Ges. 2, 163, 1900.

21) Wied. Ann. 60, 724, 1897.

22) Berl. Ber. 1900, 929; Astrophys. Journ. 14, 335 1901.

eine große Reihe sorgfältigster Energiemessungen an den Reststrahlen von Flußpat und Steinsalz. Zur Strahlungsmessung diente die Rubenssche Thermosäule<sup>23)</sup> in Verbindung mit dem von *H. du Bois* und ihm kurz vorher konstruierten Panzergalvanometer<sup>24)</sup>. Die Temperatur der benutzten schwarzen Körper konnte von 85° bis 1747° abs. variiert werden; da ferner die mittlere Wellenlänge der Steinsalzreststrahlen 51,2  $\mu$  betrug, erreichte das Produkt  $\lambda T$  Werte bis 90 000, also fast das Dreifache des bisher erreichten größten Wertes. Das Ergebnis war sehr überraschend. Die Energiekurven besaßen bei diesen langen Wellen einen völlig anderen Charakter: Von den tiefsten Temperaturen abgesehen, war die Energie einfach der Temperatur proportional.

Die weitere Entwicklung ist nun von einer geradezu dramatischen Schnelligkeit und Folgerichtigkeit. Als am Sonntag, dem 7. Oktober 1900, *Rubens* mit seiner Frau bei *Planck* einen Besuch machte, kam das Gespräch auch auf die Messungen, mit denen *Rubens* beschäftigt war. Er erzählte, daß bei seinen längsten Wellen das kürzlich von *Lord Rayleigh*<sup>25)</sup> aufgestellte Gesetz:

$$E_{\lambda, T} = c_1 \frac{T}{\lambda^5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}} \dots \dots \dots (4)$$

gelte\*). Eine allgemeingültige Strahlungsformel müsse jedenfalls für große  $\lambda T$  in diese Form übergehen. Auf dieses Gespräch hin stellte nun *Planck* sogleich folgende Rechnung an: Er war gewohnt, nicht mit der Strahlungsformel selbst, sondern mit der Entropie  $S$  eines mit der Strahlung im Gleichgewicht befindlichen Resonators zu rechnen, die als Funktion seiner Energie  $U$  sehr viel einfachere Ausdrücke liefert.  $S$  und  $U$  stehen mit der Temperatur  $T$  in der Beziehung:

$$\frac{dS}{dU} = \frac{1}{T} \dots \dots \dots (5)$$

Proportionalität der Energie mit der Temperatur ergibt also:

$$\frac{dS}{dU} = \frac{\text{const}}{U}$$

oder

$$\frac{d^2 S}{dU^2} = -\frac{\text{const}}{U^2} \dots \dots \dots (6)$$

Aus dem Wienschen Energieverteilungsgesetz folgt dagegen

$$\frac{1}{T} = -\text{const} \ln U + \text{const},$$

also

$$\frac{d^2 S}{dU^2} = -\frac{\text{const}}{U} \dots \dots \dots (7)$$

Es mußte demnach für kleine  $\lambda T$ , also kleine  $U$ ,

<sup>23)</sup> ZS. f. Instrk. 18, 65, 1898.

<sup>24)</sup> Ann. d. Phys. 2, 84, 1900.

<sup>25)</sup> Phil. Mag. 49, 539, 1900.

\*) Es handelt sich also nicht um dasjenige Gesetz, das man jetzt unter dem Rayleighschen oder Rayleigh-Jeansschen Gesetz zu verstehen pfl egt. Dieses wurde erst später aufgestellt (vgl. Formel 10).

die Formel (7), für große  $\lambda T$ , also große  $U$ , die Formel (6) gelten, und *Planck* kam nun auf den überaus glücklichen Gedanken, beide Formeln in der Weise zu verbinden, daß er setzte:

$$\frac{d^2 S}{dU^2} = -\frac{\text{const}}{U(U + \text{const})} \dots \dots \dots (8)$$

Mit Hilfe der Beziehung (5) und des Verschiebungsgesetzes führte ihn diese Formel (8) unmittelbar zu dem Energieverteilungsgesetz:

$$E_{\lambda, T} = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1} \dots \dots \dots (9)$$

Noch an demselben Abend teilte er *Rubens* diese Formel auf einer Postkarte mit, die dieser am nächsten Morgen erhielt. Ein oder zwei Tage darauf ging *Rubens* wieder zu *Planck* und konnte ihm die Nachricht bringen, daß die neue Formel vorzüglich mit seinen Beobachtungen stimme. Am Freitag der folgenden Woche, dem 19. Oktober, berichtete *Kurlbaum* in der Sitzung der Physikalischen Gesellschaft über *Rubens'* und seine Strahlungsmessungen, und im Anschluß daran teilte *Planck* seine Formel mit und zeigte ihre Übereinstimmung mit den Beobachtungen an einigen Zahlenbeispielen.

Aber so wertvoll die Kenntnis eines allgemeingültigen Strahlungsgesetzes war, *Planck* gab sich mit einer empirischen Formel nicht zufrieden. „Daher war ich“, so erzählt er uns selbst in seinem Nobelvortrag<sup>26)</sup>, „von dem Tage ihrer Aufstellung an mit der Aufgabe beschäftigt, ihr einen wirklichen physikalischen Sinn zu verschaffen, und diese Frage führte mich von selbst zu der Betrachtung des Zusammenhangs zwischen Entropie und Wahrscheinlichkeit, also auf Boltzmannsche Ideengänge; bis sich nach einigen Wochen der angespanntesten Arbeit meines Lebens das Dunkel lichtete und eine neue ungeahnte Fernsicht aufzudämmern begann.“ Schon am 14. Dezember desselben Jahres konnte er in der Physikalischen Gesellschaft seine berühmte, auf der Einführung der Energiequanten beruhende Herleitung seiner Formel mitteilen. Es ist nicht zu verwundern, daß diese unerhört neuartige physikalische Theorie zunächst sehr geteilte Aufnahme fand, aber *Rubens* äußerte sich sogleich zustimmend. So wurde der 14. Dezember 1900, um einen Ausdruck *Sommerfelds*<sup>27)</sup> zu gebrauchen, der „Geburtstag“ der Quantentheorie, die in den nächsten Jahrzehnten die ganze Atom- und Molekularphysik durchdringen sollte.

Inzwischen hatte *Paschen* erkannt, daß die von ihm benutzten Strahlungsquellen zum Teil keine vollkommen schwarzen Körper gewesen waren, und hatte in einer neuen Untersuchung<sup>28)</sup>

<sup>26)</sup> Die Entstehung und bisherige Entwicklung der Quantentheorie, Leipzig 1920.

<sup>27)</sup> Atombau und Spektrallinien, S. 44, Braunschweig 1922.

<sup>28)</sup> Ann. d. Phys. 4, 277, 1901.



zwischen 1 und  $9\mu$  ebenfalls eine Bestätigung der Planckschen Formel erhalten. Auch *Rubens* und *Kurlbaum* setzten ihre Versuche noch fort und ergänzten sie durch Messungen<sup>29)</sup> an den Reststrahlen von Quarz. Die Übereinstimmung mit der Planckschen Formel war hier nicht ganz so gut; dies lag offenbar, wie *Rubens* selbst später in seinem Bericht<sup>30)</sup> auf dem Solvay-Kongreß erwähnte, an der Inhomogenität der Reststrahlen, die sich bei diesen kürzeren Wellen ( $8,50$  und  $9,05\mu$ ) schon viel stärker bemerkbar macht.

Eine neue theoretische Stütze gewann die Plancksche Formel, als Lord *Rayleigh*<sup>31)</sup> und *I. H. Jeans*<sup>32)</sup> im Jahre 1905 zeigten, daß für hinreichend große  $\lambda T$  die Strahlungsformel:

$$E_{\lambda, T} = c_1 \frac{T}{\lambda^4} \dots \dots \dots (10)$$

gelten müsse. Ihre Herleitung war deshalb von größter Beweiskraft, weil sie die Betrachtung der Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie ganz vermeidet und nur auf die Vorgänge im Vakuum eingeht. In der Tat war ja die Plancksche Formel so aufgestellt, daß  $E_{\lambda, T}$  für große  $\lambda T$  mit  $T$  proportional wird, woraus sich mittelst des Verschiebungsgesetzes die Rayleigh-Jeanssche Formel (10) ergibt.

Dagegen wurde das Vertrauen in alle bisher ausgeführten experimentellen Prüfungen, soweit sie sich auf hohe Temperaturen beziehen, ein wenig erschüttert, als *L. Holborn* und *S. Valentiner*<sup>33)</sup> 1907 bei einer erneuten Prüfung fanden, daß die bisher benutzte Temperaturskala oberhalb  $1100^\circ \text{C.}$ , wo sie auf einer Extrapolation beruhte, erheblich fehlerhaft war. Indessen schienen die Messungen von *Holborn* und *Valentiner* nach Anbringen der Temperaturkorrektur sowie alle späteren Arbeiten, von denen vor allem die langjährigen systematischen Untersuchungen von *Warburg* und seinen Mitarbeitern<sup>34)</sup> an der Reichsanstalt zu nennen sind, zum mindesten keinen Widerspruch gegen die Plancksche Formel zu ergeben. Aber alle diese Arbeiten hatten viel mehr eine genaue Bestimmung der Konstanten  $c_2$  als eine Prüfung der Strahlungsformel in einem möglichst großen Temperatur- und Wellenlängenbereich zum Ziel.

Vor drei Jahren unterzogen nun *W. Nernst* und *Th. Wulf*<sup>35)</sup> das gesamte vorliegende Beobachtungsmaterial einer kritischen Durchsicht und sorgfältigen Neuberechnung. Sie nahmen das Wiensche Verschiebungsgesetz, sowie für kleine  $\lambda T$  die Wiensche und für große  $\lambda T$  die

Rayleigh-Jeanssche Strahlungsformel als theoretisch und experimentell sichergestellt an. Für die Konstante  $c_2$  benutzten sie den Wert  $14\,300$ , der sich aus den Messungen bei kleinen  $\lambda T$  mit einem Fehler von höchstens einigen Promille ergibt. Es zeigte sich dann, daß die Beobachtungen im Gebiete mittlerer  $\lambda T$  systematisch etwas größere Werte für das Emissionsvermögen  $E_{\lambda, T}$  geben als die Plancksche Formel. *Nernst* und *Wulf* setzten:

$$E_{\lambda, T} = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1} (1 + \alpha) \dots \dots (11)$$

Die Größe  $\alpha$ , die die Abweichung von der Planckschen Formel mißt und nach dem Verschiebungsgesetz nur eine Funktion von  $\lambda T$  sein kann, verschwindet nach den gemachten Voraussetzungen sowohl für kleine wie für große  $\lambda T$ , erreicht aber für  $\lambda T$  gleich etwa  $5700$  ein Maximum von  $0,072$ . Wenn diese Abweichung auch klein ist, so würde sie, wenn sie nicht auf Versuchsfehlern beruhte, für die Quantentheorie von unabwehrbaren Folgen sein. Denn diese verlangt die absolut exakte Gültigkeit der Planckschen Formel.

Die Werte von  $\lambda T$ , für die die „ $\alpha$ -Korrektur“ beträchtlich wird, lassen sich nur im Ultrarot erreichen. Niemand war also mehr dazu berufen, über die Realität der  $\alpha$ -Korrektur durch neue Messungen zu entscheiden als *Rubens* mit seiner einzig dastehenden Erfahrung auf diesem Gebiet. Und so begann er 1920, zusammen mit *G. Michel*, eine neue systematische Prüfung der Planckschen Formel, hauptsächlich in dem von der  $\alpha$ -Korrektur betroffenen Gebiet der  $\lambda T$ . Die Aufgabe war diesmal schwieriger als vor 20 Jahren. Damals hatte es sich um die Entscheidung zwischen Formeln gehandelt, die in gewissen Gebieten weit voneinander abwichen; jetzt sollte über eine Differenz, die im Maximum wenige Prozente erreichte, entschieden werden. Aber die experimentellen Hilfsmittel waren seitdem, vor allem durch *Rubens* selbst, wesentlich verbessert und die Genauigkeit der Messung hoher Temperaturen erheblich gesteigert worden, so daß die Lösung der Aufgabe möglich erschien.

*Rubens* und *Michel*<sup>36)</sup> nahmen mit allen erdenklichen Vorsichtsmaßregeln und Kontrollen acht Isochromaten in einem großen Temperaturintervall auf, und zwar bei sechs verschiedenen Wellenlängen zwischen  $4$  und  $16\mu$  mit einem Flußspat-, einem Steinsalz- und einem Sylvinsprisma sowie mit Hilfe der Reststrahlen von Flußspat und Steinsalz. Sie berechneten dann aus der beobachteten Energie die Größen:

$$C' = \left( e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right) E_{\lambda, T}$$

und

$$C' = \frac{C}{1 + \alpha}$$

<sup>36)</sup> Berl. Ber. 1921, 590; Phys. ZS. 22, 569, 1921.

<sup>29)</sup> Ann. d. Phys. 4, 649, 1901.

<sup>30)</sup> Sur la vérification de la formule du rayonnement de Planck dans le domaine des grandes longueurs d'onde, Paris 1912.

<sup>31)</sup> Nature 72, 54 u. 243, 1905.

<sup>32)</sup> Phil. Mag. 10, 91, 1905.

<sup>33)</sup> Ann. d. Phys. 22, 1, 1907.

<sup>34)</sup> E. Warburg, G. Leithäuser, E. Hupka, C. Müller, Ann. d. Phys. 40, 609, 1913; E. Warburg, C. Müller, Ann. d. Phys. 48, 410, 1915.

<sup>35)</sup> Verh. Phys. Ges. 21, 294, 1919.

von denen für jede Isochromate  $C$  bei Gültigkeit der Planckschen,  $C'$  bei Gültigkeit der Nernst-Wulfschen Formel konstant sein muß. Das Ergebnis war, daß die  $C$ -Werte nur unsystematische Schwankungen zeigten, die im allgemeinen innerhalb  $\pm 1\%$  lagen, die  $C'$ -Werte dagegen einen Gang bis zu  $6\%$  erkennen ließen. Damit war die Gültigkeit der Planckschen Formel innerhalb der Meßgenauigkeit von  $1\%$  erwiesen. Ein einheitlicher Grund für die scheinbar systematischen Abweichungen der früheren Beobachtungen läßt sich nicht angeben, aber es gibt viele Ursachen,

die die Genauigkeit der früheren Beobachtungen beeinträchtigten und die Rubens jetzt vermeiden konnte.

Diese mit der gewohnten unübertrefflichen Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit durchgeführte Untersuchung, durch die Rubens die Grundlage der Quantentheorie sicherstellte, bildet eins seiner höchsten Verdienste. Es ist ein großes Glück, daß er, obgleich er den Keim der tödlichen Krankheit schon in sich hatte, der physikalischen Forschung dieses wertvolle Geschenk noch hat machen können.

### Verzeichnis der von Rubens veröffentlichten Arbeiten.

- Rubens, Die selektive Reflexion der Metalle. Wied. Ann. 37, 249, 1889.
- Rubens, Nachweis von Telephon- und Mikrophonströmen mit dem Galvanometer. Wied. Ann. 37, 522, 1889.
- Pualzow und Rubens, Anwendung des bolometrischen Prinzips auf elektrische Messungen. Wied. Ann. 37, 529, 1889.
- Du Bois und Rubens, Brechung und Dispersion des Lichtes in einigen Metallen. Berl. Ber. 1890, 955; Wied. Ann. 41, 507, 1890.
- Rubens und Ritter, Über die Anwendung des Bolometers zur quantitativen Messung der Hertzschen Strahlung. Verh. Phys. Ges. 9, 27, 1890.
- Rubens und Ritter, Über das Verhalten von Drahtgittern gegen elektrische Schwingungen. Wied. Ann. 40, 55, 1890.
- Rubens, Über Messung stehender Wellen in Drähten. Verh. Phys. Ges. 9, 109, 1890.
- Rubens, Über stehende elektrische Wellen in Drähten und deren Messung. Wied. Ann. 42, 154, 1891.
- Arons und Rubens, Über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektrischer Wellen in isolierenden Flüssigkeiten. Wied. Ann. 42, 581, 1891.
- Arons und Rubens, Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektrischer Wellen in einigen festen Isolatoren. Wied. Ann. 44, 206, 1891.
- Rubens und Hirsch, Über ein neues Elektrodynamometer. Verh. Phys. Ges. 10, 23, 1891.
- Rubens, Über neuere Versuche auf elektrodynamischem Gebiete. Naturwiss. Rdsch. 6, 482, 1891.
- Rubens, Über Dispersion ultraroter Strahlen. Wied. Ann. 45, 283, 1892.
- Arons und Rubens, Bemerkung zur Abhandlung des Herrn Waitz über die Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektrischer Wellen in verschiedenen Dielektrici. Wied. Ann. 45, 381, 1892.
- Du Bois und Rubens, Über ein Brechungsgesetz für den Eintritt des Lichtes in absorbierende Medien. Wied. Ann. 47, 203, 1892.
- Rubens, Über neuere Versuche auf elektrodynamischem Gebiet II. Naturw. Rdsch. 7, 4, 1892.
- Rubens und Snow, Über die Brechung der Strahlen von großer Wellenlänge in Steinsalz, Sylvin und Fluorit. Wied. Ann. 46, 529, 1892. Phil. Mag. 35, 35, 1893.
- Du Bois und Rubens, Über die Polarisation ultraroter Strahlen beim Durchgang durch Metalldrahtgitter. Berl. Ber. 1892, 1129.
- Du Bois und Rubens, Modifiziertes astatisches Galvanometer. Wied. Ann. 48, 236, 1893.
- Du Bois und Rubens, Über Polarisation von Wärmestrahlen durch Metalldrahtgitter. Naturw. Rdsch. 8, 453, 1893.
- Du Bois und Rubens, Polarisation ungebeugter ultraroter Strahlung durch Metalldrahtgitter. Wied. Ann. 49, 593, 1893.
- Rubens, Prüfung der Ketteler-Helmholtzschen Dispersionsformel. Wied. Ann. 53, 267, 1894.
- Rubens, Prüfung der Helmholtzschen Dispersions-theorie. Naturw. Rdsch. 9, 389, 1894.
- Rubens, Zur Helmholtzschen Dispersionstheorie. Naturw. Rdsch. 9, 606, 1894.
- Rubens, Zur Dispersion der ultraroten Strahlen in Fluorit. Wied. Ann. 51, 381, 1894.
- Du Bois und Rubens, Einige neuere Galvanometerformen. Elektrot. ZS. 1894, 321.
- Rubens, Die Ketteler-Helmholtzsche Dispersionsformel. Wied. Ann. 54, 476, 1895.
- Rubens, Vibrationsgalvanometer. Wied. Ann. 56, 27, 1895.
- W. Rathenau, E. Rathenau und Rubens, Versuche über elektrische Telegraphie ohne Draht. Naturw. Rdsch. 10, 41, 1895.
- Rubens, Über das ultrarote Absorptionsspektrum von Steinsalz und Sylvin. Verh. Phys. Ges. 15, 108, 1896.
- Rubens und Nichols, Beobachtung elektrischer Resonanz an Wärmestrahlen von großer Wellenlänge. Berl. Ber. 1896, 1393.
- Rubens, Demonstrationsversuche mit elektrischen Wellen. ZS. f. Unterr. 9, 241, 1896.
- Rubens, Aufstellung und Astasierung eines empfindlichen Spiegelgalvanometers. Verh. Phys. Ges. 15, 11, 1896.
- Rubens und Nichols, Über Wärmestrahlen von großer Wellenlänge. Naturw. Rdsch. 11, 545, 1896.
- Rubens und Nichols, Versuche mit Wärmestrahlen von großer Wellenlänge. Wied. Ann. 60, 418, 1897.
- Rubens und Trowbridge, Beitrag zur Kenntnis der Dispersion und Absorption der ultraroten Strahlen in Steinsalz und Sylvin. Wied. Ann. 60, 724, 1897; Sill. Journ. 5, 33, 1898.
- Rubens, Certain optical and electro-magnetic properties of heat waves of great wave length. Phys. Rev. 5, 98 u. 152, 1897.
- Rubens, Versuche mit kurzen elektrischen Wellen. ZS. f. Unterr. 10, 239, 1897.
- Rubens, Eine neue Thermosäule. ZS. f. Instrk. 18, 65, 1898; ZS. f. Unterr. 11, 126, 1898.



- Hagen und Rubens*, Über das Reflexionsvermögen von Metallen. Verh. Phys. Ges. 17, 143, 1898.
- Rubens und Aschkinaf*, Über die Durchlässigkeit einiger Flüssigkeiten für Wärmestrahlen von großer Wellenlänge. Wied. Ann. 64, 602, 1898.
- Rubens und Aschkinaf*, Die Reststrahlen von Steinsalz und Sylv. Wied. Ann. 65, 241, 1898.
- Rubens und Aschkinaf*, Beobachtungen über Absorption und Emission von Wasserdampf und Kohlensäure im ultraroten Spektrum. Wied. Ann. 64, 584, 1898.
- Rubens und Nichols*, Recherches sur les radiations de grande longueur d'onde. Séances soc. franç. de phys. 1897, 40.
- Rubens und Aschkinaf*, Über die Eigenschaften der Reststrahlen des Steinsalzes. Verh. Phys. Ges. 17, 42, 1898.
- Rubens und Aschkinaf*, Isolierung langwelliger Wärmestrahlen durch Quarzprismen. Wied. Ann. 67, 459, 1899.
- Rubens*, Über die Reststrahlen des Flußspats. Wied. Ann. 69, 576, 1899.
- Hagen und Rubens*, Das Reflexionsvermögen von Metallen und belegten Glasspiegeln. ZS. f. Instrk. 19, 293, 1899; Ann. d. Phys. 1, 352, 1900.
- Rubens*, Le spectre infra-rouge, Rapport présenté au congrès international de physique. Paris 1900.
- Rubens*, Recherches sur le spectre infra-rouge. Revue générale des Sciences 11, 7, 1900.
- Du Bois und Rubens*, Panzergalvanometer. Ann. d. Phys. 2, 84, 1900.
- Rubens und Kurlbaum*, Über die Emission langwelliger Wärmestrahlen durch den schwarzen Körper bei verschiedenen Temperaturen. Berl. Ber. 1900, 929; Astrophys. Journ. 14, 335, 1901.
- Rubens und Aschkinaf*, Vorlesungsversuch über die magnetische Ablenkbarkeit der Becquerelstrahlen. Verh. Phys. Ges. 2, 13, 1900.
- Hagen und Rubens*, Das Reflexionsvermögen von Metallen für ultraviolette Strahlen. Verh. Phys. Ges. 3, 165, 1901.
- Rubens und Kurlbaum*, Anwendung der Methode der Reststrahlen zur Prüfung des Strahlungsgesetzes. Ann. d. Phys. 4, 649, 1901.
- Hagen und Rubens*, Das Reflexionsvermögen einiger Metalle für ultraviolette und ultrarote Strahlen. Ann. d. Phys. 8, 1, 1902; ZS. f. Instrk. 22, 42, 1902.
- Hagen und Rubens*, Die Absorption ultravioletter, sichtbarer und ultraroter Strahlen in dünnen Metallschichten. Verh. Phys. Ges. 4, 55, 1902; Ann. d. Phys. 8, 432, 1902.
- Rubens*, Die optischen und elektrischen Eigenschaften der Metalle. ZS. d. Ver. D. Ing. 47, 1325, 1903.
- Hagen und Rubens*, Die optischen und elektrischen Eigenschaften der Metalle. 75. Vers. D. Naturf. u. Ärzte, Kassel 1903; Phys. ZS. 4, 727, 1903; Journ. de Phys. 4, 264, 1905.
- Rubens*, Versuche mit Reststrahlen von Quarz und Flußspat. Phys. ZS. 4, 726, 1903.
- Hagen und Rubens*, Über Beziehungen zwischen dem Reflexionsvermögen der Metalle und ihrem elektrischen Leitvermögen. Berl. Ber. 1903, 269; Verh. Phys. Ges. 5, 113, 1903.
- Hagen und Rubens*, Das Emissionsvermögen der Metalle für Strahlen großer Wellenlänge. Verh. Phys. Ges. 5, 145, 1903.
- Hagen und Rubens*, Das Emissionsvermögen der Metalle für lange Wellen. Berl. Ber. 1903, 410.
- Hagen und Rubens*, Über Beziehungen des Reflexions- und Emissionsvermögens der Metalle zu ihrem elektrischen Leitvermögen. Ann. d. Phys. 11, 873, 1903; Ann. chim. phys. 1, 185, 1904; Phil. Mag. 7, 157, 1904.
- Rubens*, Demonstration stehender Schallwellen durch Manometerflammen. Verh. Phys. Ges. 6, 351, 1904; Journ. de phys. 4, 314, 1905; 5, 505, 1906; Bull. Soc. Franç. de Phys. 1906, 101.
- Rubens*, L'optique des métaux pour les ondes de grande longueur. Revue générale des sciences 15, 928, 1904.
- Du Bois und Rubens*, Über Polarisation langwelliger Wärmestrahlen durch Drahtgitter. Verh. Phys. Ges. 6, 77, 1904.
- Hagen und Rubens*, Emissionsvermögen und elektrische Leitfähigkeit der Metallegierungen. Verh. Phys. Ges. 6, 1, 1904; Ann. chim. phys. 2, 441, 1904.
- Rubens*, Das Emissionsspektrum des Auerstrumpfes. Verh. Phys. Ges. 7, 346, 1905; Phys. ZS. 6, 790, 1905.
- Rubens und Ladenburg*, Über das langwellige Absorptionsspektrum der Kohlensäure. Verh. Phys. Ges. 7, 171, 1905.
- Rubens*, Optische Konstanten von Metallen, Landolt-Börnstein, Berlin 1905.
- Rubens und Krigar-Menzel*, Flammenröhre für akustische Beobachtungen. Ann. d. Phys. 17, 149, 1905; Journ. de phys. 4, 787, 1905.
- Rubens*, Apparat zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents. Verh. Phys. Ges. 8, 77, 1906; Phys. ZS. 7, 272, 1906; Journ. de phys. 5, 847, 1906.
- Rubens*, Über die Temperatur des Auerstrumpfes. Verh. Phys. Ges. 8, 41, 1906; Phys. ZS. 7, 186, 1906.
- Rubens*, Emissionsvermögen und Temperatur des Auerstrumpfes bei verschiedenem Cergehalt. Ann. d. Phys. 20, 593, 1906.
- Rubens*, Le rayonnement des manchons à incandescence. Journ. de phys. 5, 306, 1906; Bull. Soc. Franç. de Phys. 1906, 74.
- Rubens*, Das Emissionsspektrum des Auerstrumpfes. Verh. Ges. D. Naturf. u. Ärzte 2, 44, 1906.
- Rubens*, Die Strahlung des Auerbrenners. Journ. f. Gasbel. u. Wasservers. 1906, 1; Journ. de phys. 1906.
- Rubens und Ladenburg*, Über lichtelektrische Erscheinungen an dünnen Goldblättchen. Verh. Phys. Ges. 9, 749, 1907.
- Rubens*, Über die Dispersion von Steinsalz und Sylv. für lange Wellen. Ann. d. Phys. 26, 615, 1908.
- Rubens und Ladenburg*, Das Reflexionsvermögen des Wassers. Berl. Ber. 1908, 274; Verh. Phys. Ges. 10, 226, 1908.
- Rubens*, Antrittsrede des Herrn Rubens. Berl. Ber. 1908, 714.
- Rubens*, A. Paalzow, Gedächtnisrede. Verh. Phys. Ges. 10, 451, 1908.
- Görges und Rubens*, Begriffsbestimmung für Potential, Potentialdifferenz, elektromotorische Kraft, Spannung, Spannungsdifferenz. Verh. Phys. Ges. 10, 578, 1908.
- Rubens und Ladenburg* †, Das Reflexionsvermögen des Äthylalkohols. Berl. Ber. 1908, 1140.
- Rubens*, Änderung des Emissionsvermögens der Metalle mit der Temperatur. Nach gemeinsam mit Hrn. E. Hagen ausgeführten Versuchen. 80. Vers. D. Naturf. u. Ärzte, Köln 1908; Verh. Phys. Ges. 10, 710, 1908; Phys. ZS. 9, 874, 1908.

- Rubens und Ladenburg* †, Über die Dispersion des Wassers im ultraroten Spektrum. Verh. Phys. Ges. 11, 16, 1909.
- Rubens und Ladenburg* †, Les propriétés optiques de l'eau dans le spectre infra-rouge. Le Radium 6, 33, 1909.
- Hagen und Rubens*, Über die Abhängigkeit des Emissionsvermögens der Metalle von der Temperatur. Berl. Ber. 1909, 478.
- Rubens und Hollnagel*, Messungen im langwelligen Spektrum. Berl. Ber. 1910, 26; Verh. Phys. Ges. 12, 83, 1910; Phil. Mag. 19, 761, 1910.
- Rubens*, Über die Änderung des Emissionsvermögens der Metalle mit der Temperatur im kurzwelligen Teil des Ultrarots. Verh. Phys. Ges. 12, 172, 1910.
- Hagen und Rubens*, Über die Änderung des Emissionsvermögens der Metalle mit der Temperatur im kurzwelligen ultraroten Spektrum. Berl. Ber. 1910, 467.
- Rubens und Wood*, Isolierung langwelliger Wärmestrahlen durch Quarzlinen. Berl. Ber. 1910, 1122; Le Radium 8, 44, 1911.
- Rubens*, Gedächtnisrede auf Friedrich Kohlrausch. Berlin 1910.
- Rubens*, Über langwellige Reststrahlen des Kalkspats. Verh. Phys. Ges. 13, 102, 1911.
- Rubens und v. Baeyer*, Über eine äußerst langwellige Strahlung des Quecksilberdampfes. Berl. Ber. 1911, 339; Le Radium 8, 139, 1911; Phil. Mag. 21, 689, 1911.
- Rubens und Wood*, Einfache Anordnung zur Isolierung sehr langwelliger Wärmestrahlen. Verh. Phys. Ges. 13, 88, 1911.
- Rubens*, Bemerkung zu der Arbeit von Rubens und Wood: Einfache Methode zur Isolierung sehr langwelliger Wärmestrahlung. Verh. Phys. Ges. 13, 179, 1911.
- Emde, Planck, Rubens und Strahl*, Arbeit und Energie. Verh. Phys. Ges. 13, 519, 1911.
- Rubens und v. Baeyer*, Über die Energieverteilung der von der Quarzquecksilberlampe ausgesandten langwelligen Strahlung. Berl. Ber. 1911, 666.
- Rubens und v. Wartenberg*, Absorption langwelliger Wärmestrahlen in einigen Gasen. Verh. Phys. Ges. 13, 796, 1911; 83. Vers. D. Naturf. u. Ärzte, Karlsruhe 1911; Phys. ZS. 12, 1080, 1911.
- Du Bois und Rubens*, Polarisation langwelliger Wärmestrahlung durch Hertzsche Drahtgitter. Verh. Phys. Ges. 13, 431, 1911.
- Du Bois und Rubens*, Polarisation ungebeugter langwelliger Wärmestrahlen durch Drahtgitter. Ann. d. Phys. 35, 243, 1911; Phil. Mag. 22, 322, 1911.
- Rubens und Hertz*, Über den Einfluß der Temperatur auf die Absorption langwelliger Wärmestrahlen in einigen festen Isolatoren. Berl. Ber. 1912, 256.
- Rubens*, Vérification de la formule du rayonnement de Planck dans le domaine des grandes longueurs d'onde. Rapports et discussions de la réunion tenue a Bruxelles, Paris 1912.
- Rubens*, Über die Absorption des Wasserdampfes und über neue Reststrahlengruppen im Gebiete der großen Wellenlängen. Berl. Ber. 1913, 513.
- Rubens und v. Baeyer*, Über den Einfluß der selektiven Absorption des Wasserdampfes auf die Energieverteilung der langwelligen Quecksilberdampfstrahlung. Berl. Ber. 1913, 802.
- Rubens*, Die Entwicklung der Atomistik, Festrede, Berlin 1913.
- Rubens und v. Wartenberg*, Beitrag zur Kenntnis der langwelligen Reststrahlen. Berl. Ber. 1914, 169.
- Rubens und Schwarzschild*, Sind im Sonnenspektrum Wärmestrahlen von großer Wellenlänge vorhanden? Berl. Ber. 1914, 702.
- Rubens*, Über Reflexionsvermögen und Dielektrizitätskonstante isolierender fester Körper und einiger Flüssigkeiten. Berl. Ber. 1915, 4.
- Rubens*, Die Prüfung der Planckschen Strahlungsformel im Gebiete langer Wellen. Verh. auf dem Solvay-Kongreß, Halle 1914.
- Rubens*, Über normale und anomale Dispersion im langwelligen Spektrum und über Herrn Debyes Theorie der molekularen Dipole. Verh. Phys. Ges. 17, 315, 1915.
- Rubens*, Wärmestrahlung, Kultur der Gegenwart III. III. I, Leipzig u. Berlin 1915.
- Rubens*, Über Reflexionsvermögen und Dielektrizitätskonstante einiger amorpher Körper. Berl. Ber. 1916, 1280.
- Rubens*, Vorlesungsversuche über ultraviolette Strahlen und über Phosphoreszenz. ZS. f. phys. Unterr. 29, 93, 1916.
- Rubens*, Versuche mit sehr kurzen akustischen Wellen. ZS. f. phys. Unterr. 29, 63, 1916.
- Rubens und Hettner*, Das langwellige Wasserdampfspektrum und seine Deutung durch die Quantentheorie. Berl. Ber. 1916, 167.
- Rubens und Hettner*, Das Rotationsspektrum des Wasserdampfes. Verh. Phys. Ges. 18, 154, 1916.
- Rubens*, Das ultrarote Spektrum und seine Bedeutung für die Bestätigung der elektromagnetischen Lichttheorie. Berl. Ber. 1917, 47.
- Rubens*, Adresse an Hrn. Emil Warburg zum fünfzigjährigen Doktorjubiläum am 30. März 1917. Berl. Ber. 1917, 269.
- Rubens*, Über die Brechungsexponenten einiger fester Körper für kurze Hertzsche Wellen. Berl. Ber. 1917, 556.
- Rubens*, Die Energiequellen der Erde. Berl. Ber. 1918, 941.
- Rubens*, Adresse an Hrn. W. C. Röntgen zum fünfzigjährigen Doktorjubiläum am 22. Juni 1919. Berl. Ber. 1919, 522.
- Liebisch und Rubens*, Über die optischen Eigenschaften einiger Kristalle im langwelligen ultraroten Spektrum. 1. Mitt. Berl. Ber. 1919, 198; 2. Mitt. Berl. Ber. 1919, 876.
- Rubens*, Über die Drehung der optischen Symmetrieachsen von Adular und Gips. Berl. Ber. 1919, 976.
- Rubens*, Bemerkung zu der Arbeit des Herrn Neesen: Über die Anwendung des Satzes von der relativen Bewegung auf die Geschösbewegung. Verh. Phys. Ges. 21, 773, 1919.
- Rubens*, Über die optischen und elektrischen Symmetrieachsen monokliner Kristalle. ZS. f. Phys. 1, 11, 1920.
- Rubens*, Gittermessungen im langwelligen Spektrum. Berl. Ber. 1921, 8.
- Liebisch und Rubens*, Über die optischen Eigenschaften einiger Kristalle im langwelligen ultraroten Spektrum. 3. Mitt. Berl. Ber. 1921, 211.
- Rubens und Michel*, Beitrag zur Prüfung der Planckschen Strahlungsformel. Berl. Ber. 1921, 590.
- Rubens und Michel*, Prüfung der Planckschen Strahlungsformel. Phys. ZS. 22, 569, 1921.
- Rubens* † und *Hoffmann*, Über das Emissionsvermögen geschwärzter Flächen. Noch nicht erschienen.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von

**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 49. (Seite 1041—1064.)

8. Dezember 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Über die Darstellung des Ammoniaks aus Stickstoff und Wasserstoff. Von *Fritz Haber, Berlin-Dahlem*. S. 1041.

Alkohol und Zahlenverhältnis der Geschlechter bei einer getrenntgeschlechtigen Pflanze (*Melandrium*). Von *C. Correns, Berlin-Dahlem*. S. 1049.

Hauptversammlung der Deutschen Bunsengesellschaft. S. 1052.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen:

Über den physiologischen Eindruck des Glanzes. Von *Ludwig Gräper, Breslau*. S. 1056.

Zu Rubens und Hertz Note „Über den Einfluß der Temperatur auf die Absorption langwelliger Wärmestrahlen in einigen festen Isolatoren“. Von *P. P. Ewald, Stuttgart*. S. 1057.

Mitteilungen aus verschiedenen biologischen Gebieten. S. 1058—1062.

Alkohol und Nachkommenschaft. Die Einwirkung von Überreife auf die Eier von *Rana temporaria*. Vererbung des Geschlechts bei den Fröschen. Das verschiedene Verhalten der Chromosomen in Eireifung und Samenreifung von *Lymantria monacha* L. — Untersuchungsfahrt des Reichsforschungsdampfers „Poseidon“ in das Barentsmeer im Juni und Juli 1913. Das Verhältnis der Eigröße zur Körpergröße des Vogels.

Astronomische Mitteilungen. S. 1063—1064.

Die Massen der Doppelsterne. Die Entfernung der Magellanschen Wolke. Die Reduktion der trigonometrisch beobachteten relativen Parallaxen auf absolute Parallaxen



## Roll-Tenax

mit Goerz Doppel-Anastigmat  
4 · 6,5 cm; 6 · 9 cm; 8 · 10,5 cm.

Leichte handliche Handkameras  
für Rollfilm von äußerst stabiler  
und dauerhafter Bauart.

Zu beziehen durch die photographischen  
Geschäfte.

Katalog kostenfrei.

Opt. Anst. C. P. Goerz A. G. Berlin-Friedenau

## Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 250.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 25.—.

Sollte die im Druck- und Papiergewerbe auch weiterhin fortschreitende Teuerung, deren Ende heute noch nicht abzusehen ist, eine abermalige Erhöhung des Bezugspreises innerhalb des 4. Quartals 1922 notwendig machen, so muß sich der Verlag schon heute eine entsprechende Nachberechnung vorbehalten.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 86.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Wiederholung  
5 10 20 30% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Deposten-Kasse C

Postscheck- für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20220 Julius Springer.  
Konten für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

Man verlange  
Listen!



## Projektions-Apparate Liesegang

Hochkerziges

# Globoscop

entwirft scharfe, helle Lichtbilder nach jedem Papierbild. An jede elektrische Lichtleitung anzuschließen.

Neue große Lichtbilder-Sammlung

aus allen Gebieten

für Lehr- und Vortragszwecke!

Ed. Liesegang, Düsseldorf  
Brieffach 124

## Die großen Handbücher



von Abderhalden, Abegg, Bredig, Dammer, Doelter, Gmelin-Krauth, Hertwig, Kolle-Wassermann, Lueger, Lunge, Muspratt, Richter, Ruhner, Ullmann, Winkelmann u. a. zur **Erleichterung der Anschaffung** gegen bequeme Monats- oder Quartalsraten von (297)

Hermann Meusser, Buchhandlung  
Berlin W 57/9, Potsdamer Strasse 75

## Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

J. D. Möller, Wedel in Holstein.

Gegründet 1864.

(294)

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

## Monographien aus dem Gesamtgebiet der Physiologie der Pflanzen und der Tiere

Herausgegeben von

F. Czapek, M. Gildemeister, E. Godlewski jun., C. Neuberg, J. Parnas.

Redigiert von J. Parnas.

Erster Band: **Die Wasserstoffionen-Konzentration.** Ihre Bedeutung für die Biologie und die Methoden ihrer Messung. Von Dr. Leonor Michaelis, a. o. Professor an der Universität Berlin. Zweite, völlig umgearbeitete Auflage. In 3 Teilen. Erster Teil: **Die theoretischen Grundlagen.** Mit 32 Textabbildungen. 1922. G. Z. 8.8, geb. G. Z. 11

Zweiter Band: **Die Narkose in ihrer Bedeutung für die allgemeine Physiologie.** Von Hans Winterstein, Professor der Physiol. und Direktor des Physiol. Instituts der Universität Rostock i. M. Mit 7 Textabbildungen. 1919. G. Z. 10

Dritter Band: **Die biogenen Amine und ihre Bedeutung für die Physiologie und Pathologie des pflanzlichen und tierischen Stoffwechsels.** Von Dr. M. Guggenheim. 1920. G. Z. 12

Die Grundzahlen (G. Z.) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.



## Über die Darstellung des Ammoniaks aus Stickstoff und Wasserstoff<sup>1)</sup>.

Von Fritz Haber, Berlin-Dahlem.

Die schwedische Akademie hat die Darstellung des Ammoniaks aus Stickstoff und Wasserstoff der Ehrung durch Zuerkennung des Nobelpreises wert gefunden. Diese außerordentliche Auszeichnung legt mir die Pflicht auf, die Stellung zu kennzeichnen, die die Reaktion im Rahmen des Faches einnimmt und den Weg zu schildern, der zu ihr geführt hat.

Es handelt sich um einen chemischen Vorgang der einfachsten Art. Gasförmiger Stickstoff bildet mit gasförmigem Wasserstoff nach einfachen Mengenverhältnissen gasförmiges Ammoniak. Die drei beteiligten Stoffe sind seit mehr als einem Jahrhundert dem Chemiker wohl bekannt. Jeder von ihnen ist in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts, in der uns ein Strom neuer chemischer Kenntnisse zufließt, hundertfältig in seinem Verhalten unter den verschiedensten Bedingungen studiert worden. Wenn es dennoch bis in unser Jahrhundert gedauert hat, ehe die Darstellung des Ammoniaks aus den Elementen gefunden wurde, so ist der Grund, daß ungewöhnliche Arbeitshilfsmittel benutzt und enge Bedingungen innegehalten werden müssen, wenn es gelingen soll, Stickstoff und Wasserstoff in erheblichem Maße zum freiwilligen Zusammentritt zu bringen und daß eine Verbindung experimenteller Erfolge mit thermodynamischen Überlegungen erforderlich war. Von besonderem Einfluß war, daß es früheren Bearbeitern der Frage nicht gelang, auch nur spurenweise freiwillige Vereinigung des Stickstoffs mit dem Wasserstoff zu Ammoniak mit Sicherheit nachzuweisen<sup>2)</sup>. Dadurch entstand das Vorurteil, daß die Darstellung unmöglich sei und gewann eine große Stärke in der allgemeinen Meinung des Faches. Ein solches Vorurteil läßt

verborgene Hindernisse erwarten, die stärker als klar erkannte Schwierigkeiten von der Vertiefung in den Gegenstand abschrecken.

Das Interesse der näheren Fachgenossen an der Ammoniakdarstellung aus den Elementen gründet sich darauf, daß ein einfaches Resultat mit ungewohnten Hilfsmitteln erreicht worden ist. Das Interesse eines weiteren Kreises hat seine Quelle darin, daß die Ammoniaksynthese aus den Elementen ins Große übertragen einen nützlichen, ja vielleicht im Augenblicke den nützlichsten Weg darstellt, um ein wichtiges volkswirtschaftliches Bedürfnis zu befriedigen. Dieser praktische Nutzen war nicht das vorgesteckte Ziel meiner Versuche. Ich war nicht im Zweifel, daß meine Laboratoriumsarbeit nicht mehr liefern konnte als eine wissenschaftliche Feststellung der Grundlagen und eine Kennzeichnung der experimentellen Hilfsmittel und daß zu diesem Ergebnis vieles hinzukommen mußte, um ein wirtschaftliches Gelingen im industriellen Maße zu sichern. Aber ich würde auf der anderen Seite diesen Gegenstand schwerlich so eingehend studiert haben, wenn ich nicht von der volkswirtschaftlichen Notwendigkeit eines chemischen Fortschrittes auf diesem Gebiete überzeugt und von dem Fichteschen Gedanken erfüllt gewesen wäre, daß der nächste Zweck der Wissenschaft in ihrer eigenen Entwicklung, der Endzweck aber in dem gestaltenden Einflusse gelegen ist, den sie zu rechter Zeit auf das allgemeine Leben und die ganze menschliche Ordnung der Dinge übt.

Seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts hat sich die Erkenntnis Bahn gebrochen, daß die Zufuhr des Stickstoffs eine Grundbedingung für die Entwicklung der Nährpflanze ist, daß aber die Pflanze den elementaren Stickstoff, der den Hauptbestandteil der Atmosphäre bildet, nicht aufzunehmen vermag, sondern den Stickstoff an Sauerstoff gebunden als Salpeterstickstoff verlangt, um ihn zu assimilieren. Für die Bindung an Sauerstoff kann die Bindung an Wasserstoff, die Ammoniakbindung eintreten, weil der Ammoniakstickstoff im Boden in Salpeterstickstoff übergeht. Im Naturzustand geht der gebundene Stickstoff dem Boden nicht verloren. Die grünen Pflanzen verwerten ihn zum Aufbau komplizierter Bestandteile, ohne ihn in elementaren Stickstoff zu verwandeln. Tier und Mensch nehmen ihn mit der Pflanze auf und geben ihn in gebundener Form mit ihren Ausscheidungen und schließlich mit ihrem toten Körper dem Boden wieder zurück. Fäulnis und Verbrennung zerstören Anteile von gebundenem Stickstoff,

<sup>1)</sup> Vortrag gehalten bei der Erteilung des Nobelpreises in Stockholm am 1. Juni 1920.

<sup>2)</sup> Die Angaben über angebliche Ammoniakbildung aus älterer Zeit kennzeichnet das „ausführliche Lehrbuch der anorganischen Chemie“ von *Graham-Otto*, V. Auflage, Bd. II, Braunschweig 1881, Seite 79–80, in einem Abschnitt, der mit dem Satze beginnt: „Mengt man Wasserstoffgas und Stickgas in dem Verhältnis, in welchem sie im Ammoniak enthalten sind, so erfolgt keine Vereinigung durch Druck, Wärme und durch die Vermittlung von Platinschwamm.“ Eingehendere Mitteilungen, insbesondere aus der späteren Literatur, findet man in *Gmelin-Kraut's Handbuch der anorganischen Chemie*, VII. Aufl., Bd. I, Abt. I, Heidelberg 1907, und in der Monographie von *Wilhelm Moldenhauer* „Die Reaktionen des freien Stickstoffs“, Berlin 1920.

aber die Natur deckt den Verlust, indem sie auf der Bahn des Blitzes Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen in den hohen Schichten der Atmosphäre entstehen läßt, die der Regen herniederwäscht. Zu dieser stickstoffbindenden Wirkung der elektrischen Entladung fügt sie als Quelle gebundenen Stickstoffs die Tätigkeit von Bakterien im Boden, die teils frei leben, teils sich an den Wurzelknöllchen mancher Pflanzen ansiedeln und freien Stickstoff in gebundenen überführen.

Die Agrarwirtschaft läßt das Gleichgewicht an gebundenem Stickstoff im wesentlichen bestehen. Mit dem Übergang zum Industriestaat aber beginnt die Verschleppung der Bodenerzeugnisse vom Wachstumsort der Nährpflanzen zu entlegenen Verbrauchsstätten, von denen der gebundene Stickstoff nicht wieder auf den Mutterboden zurückkehrt, dem er entnommen ist.

Aus dieser Verschleppung entsteht das weltwirtschaftliche Bedürfnis nach Zufuhr gebundenen Stickstoffs zum Boden. Es wird durch die nationalwirtschaftlichen Rücksichten gesteigert, die mit der dichteren Besiedelung in den Industriestaaten die Forderung entstehen lassen, den heimatlichen Acker zu gesteigerter Fruchtbarkeit zu bringen, und es wird weiter dadurch vermehrt, daß die emporwachsende Industrie für viele eigene chemische Zwecke gebundenen Stickstoff in Anspruch nimmt. Der Stickstoffbedarf kennzeichnet, wie der Bedarf an Kohle, den Abstand, der unsere Lebensform von der des Menschen trennt, der „selbst den Boden düngt, den er bebaut“.

Der Landwirtschaft, die immer der Hauptverbraucher ist, wird mit der Stickstoffzufuhr allein nicht Genüge getan. Kali und Phosphorsäure sind ihr gleich unentbehrlich. Aber für die Befriedigung des Stickstoffbedarfes stand der Weltwirtschaft von Haus aus ein viel geringerer Reichtum natürlicher Vorräte zu Gebote. So wurde naturgemäß die Sorge um den Stickstoff die erste der großen Klippen, die die neue Fahrstraße gefährdeten, auf der wir uns in der Weltwirtschaft seit einigen Jahrzehnten bewegen.

Unsere Geschichtsbetrachtung, die gewohnt ist, die historischen Tatsachen aus der unveränderlichen Natur des Menschen zu verstehen, verführt uns gern, über den ungeheuren Einschnitt hinwegzusehen, den das vergangene Jahrhundert in der Geschichte der Menschheit bedeutet. Alle vorangehende Zeit, deckte ihren Bedarf an Energie durch die physische Arbeit der Menschen und die Ausnutzung von Wind und Sonne, die älter sind als wir und unsere Lebensbedingungen überdauern werden. Das vorige Jahrhundert hat alle Tore zu dem Energievorrat der Kohle aufgetan und in den Industriestaaten Lebensformen eingebürgert, bei denen die physische Arbeit der Menschen nur das Relais betätigt, das den hundertfach stärkeren Strom der Kohlenenergie in die Adern des Weltwirtschaftskörpers steuert. Damit sind technische Not-

wendigkeiten entstanden, denen wir nur zu leicht mangels einer ausreichenden Entwicklung der Wissenschaft ohne genügende Vorsorge gegenüberstehen. Der augenblickliche Zustand der Welt, bei dem die Nachwirkung des Krieges in Zentraleuropa erdrückend auf der Wissenschaftspflege lastet, legt diese Erinnerung besonders nahe.

Das Bedürfnis nach Erschließung neuer Stickstoffquellen trat um die Wende des vorigen Jahrhunderts stark hervor. Seit seiner Mitte schöpften wir aus dem Bestand an Salpeterstickstoff, den die Natur in der chilenischen Hochgebirgswüste angesammelt hat. Dann lehrte der Vergleich des gewaltig ansteigenden Bedarfes mit dem abschätzbaren Vorrat, daß um die Mitte unseres Jahrhunderts ein Notstand großen Stils unvermeidlich war, wenn die Chemie keinen Ausweg fand.

Die chemische Fragestellung war nicht neu. Als man anfang, die Kohle zu destillieren, war man unter den Destillationsprodukten auf das Ammoniak gestoßen, das in der Form des schwefelsauren Ammoniaks Eingang in die Landwirtschaft gefunden hatte. Noch im Jahre 1870 ein lästiges Abfallprodukt der Gasbereitung, war das Ammoniak im Jahre 1900 ein hoch gewerteter Begleiter der brennbaren Gase geworden, und die Kokereiindustrie war in voller Arbeit, um überall ihre Öfen auf seine Nebengewinnung einzurichten. Seine Herkunft aus dem gebundenen Stickstoff der Kohle war geklärt. Die Verbesserung seiner Ausbeute, die kaum mehr als  $\frac{1}{5}$  vom Stickstoff der Kohle bei dem üblichen Verfahren ausmachte, war vielfach bearbeitet worden. Aber es war auf diesem Wege keine befriedigende Lösung zu erwarten. Bei einem Durchschnittsgehalt der Kohle von ungefähr 1 % an gebundenem Stickstoff konnte man die Kohle nicht allein um des Stickstoffs willen verarbeiten. Seine Gewinnung als Nebenprodukt aber zog der Erzeugung Grenzen, die es unmöglich machten, aus dieser Quelle den künftigen Ausfall des Salpeters zu ersetzen. Es ließ sich voraussehen, daß der Bedarf an gebundenem Stickstoff, der beim Beginn des Jahrhunderts mit wenigen 100 000 Tonnen im Jahre zu befriedigen war, in die Millionen von Tonnen hineinwachsen mußte. Ein solcher Bedarf konnte nur aus einer Quelle gedeckt werden, aus dem ungeheuren Vorrat an elementarem Stickstoff, den unsere Atmosphäre darstellt, und die Bindung mußte auf chemischem Wege an die einfachsten und verbreitetsten chemischen Elemente gelingen, wenn die Lösung dem Erfordernis entsprechen sollte. Wie als Ausgangsmaterial der elementare Stickstoff durch die Rohstoffverhältnisse unserer Erde gegeben war, so war als Endprodukt Ammoniak oder Salpetersäure durch die Bedürfnisse der Pflanze vorgeschrieben. Die Aufgabe kam also darauf hinaus, den elementaren Stickstoff an Sauerstoff oder an Wasser zu binden.

Auch in dieser Stellung war das chemische



Problem nicht neu und nicht unbearbeitet. Die Vereinigung des Stickstoffs mit dem Wasserstoff zu Ammoniak, wie mit dem Sauerstoff zu salpetersauren Verbindungen, hatte die Wissenschaft und zum Teil die Technik beschäftigt.

Die Vereinigung mit dem Wasserstoff unmittelbar aus den Elementen war mit verschiedenen Formen der elektrischen Entladung erzwungen worden, bei denen freilich der Energieaufwand in einem abschreckenden Verhältnis zum Ergebnis stand. Die indirekte Vereinigung hingegen war mit technisch bemerkenswertem Erfolge bearbeitet worden, indem man den Stickstoff mit anderen Elementen vereinigt und diese Verbindung nachher mit Wasser unter Abspaltung von Ammoniak zerlegt hatte. Nur der freiwillige Zusammentritt der Elemente war unbekannt, als ich 1904 begann, mich mit dem Gegenstande zu beschäftigen, und galt für ausgeschlossen, nachdem man Druck, Wärme und die vermittelnde Wirkung des Platinschwammes außerstande gefunden hatte, sie hervorzubringen<sup>3)</sup>.

Der indirekte Weg hat die Wissenschaft und die Technik immer wieder beschäftigt, seit *Marguerite* und *Sourdeval* ihn 1860, auf *Bunsens* und *Playfairs* älteren Untersuchungen fußend, an einem Musterfall entwickelt hatten. Ätzbaryt und Kohle lieferten bei hoher Temperatur mit Stickstoff Cyanbarium. Bei erniedrigter Temperatur zerfiel diese Verbindung mit Wasserdampf unter Bildung von Ammoniak und Entstehung von Bariumhydroxyd, das wieder in den Prozeß zurückkehrte. So wurde fortlaufend unter abwechselnder Bildung und Zerstörung des Cyanbariums Kohlensäure und Ammoniak aus Kohlenstoff, Wasser und elementarem Stickstoff gewonnen. In dem halben Jahrhundert, das der Veröffentlichung von *Marguerite* und *Sourdeval* folgte, ist dieser indirekte Weg, dessen erste technische Durchführung übermäßige Anforderungen an die Reaktionsgefäße stellte, in vielen abgewandelten Formen erneut bearbeitet worden. Der Baryt ließ sich durch feuerbeständige Oxyde anderer Metalle oder Halbmetalle ersetzen. Der Vorgang der Stickstoffbindung konnte in Teilvorgängen zerlegt werden, indem zunächst durch Reduktion das Metall, Halbmetall oder Metallcarbid hergestellt wurde, das in einer Folgereaktion den Stickstoff aufnahm. Das Ergebnis war als Lösung des Problems der Ammoniakdarstellung niemals vollständig befriedigend. Vollzog sich die Reduktion des Oxyds und die Aufnahme des Stickstoffs in einem Vorgang, so verlangte

sie eine sehr hohe Temperatur. Spaltete man den Vorgang, so gelangte man zu Zwischenprodukten, die leichter mit Stickstoff in Reaktion traten. Aber das Zwischenprodukt — Metall, Halbmetall oder Carbid — forderte dann für seine eigene Erzeugung aus dem Massenvorrat der Naturprodukte erst recht die Innehaltung von Bedingungen, die einen unwirtschaftlichen Aufwand elektrischer Energie — auf elektrolytischem oder elektrothermischem Wege — nötig machten.

Dem fester gebauten Stickstoffmolekül ist die Leichtigkeit fremd, mit der sich das Folgeelement im periodischen System, der Sauerstoff, teilweise aufspaltet. Dem Reichtum der Autoxydationserscheinungen steht dementsprechend ein vollständiger Mangel an freiwillig bei gewöhnlicher Temperatur verlaufenden Reaktionen des elementaren Stickstoff in der unbelebten Natur gegenüber. Die schwere Spaltbarkeit des Stickstoffs brachte die Bemühungen zum Scheitern, die der Ausbildung eines technischen Ammoniakverfahrens gewidmet wurden.

Nur an einer Stelle ist man beim Studium des indirekten Weges der Ammoniakbildung aus den Elementen imstande gewesen, die Schwierigkeiten erfolgreich zu umgehen. *Franck* und *Caro* haben durch Einwirkung des Stickstoffs auf das im Lichtbogen aus Kalk und Kohle entstehende Calciumcarbid das Calciumcyanamid, den wichtigen Kalkstickstoff, erhalten. Die Spaltung des Kalkstickstoffs mit Wasser liefert Ammoniak, und diese Spaltung vollzieht sich ohne unser besonderes Zutun in der Ackererde, der der Kalkstickstoff als Düngemittel zugeführt wird. Die darin gelegene Ersparnis technischer Operationen, verbunden mit der Beschränkung der Rohstoffe auf Kalk, Kohle und Stickstoff ist für die Einbürgerung dieses Verfahrens wichtig geworden.

Die Versuche zur Bindung des Stickstoffs an den Sauerstoff reichen noch weiter zurück als die Versuche zur Bindung an den Wasserstoff. Die Grundtatsache der Vereinigung von Stickstoff und Sauerstoff in Funken hatten schon *Cavendish* und *Priestley* beobachtet. Das erste Erzeugnis ist dabei Stickoxyd, das sich in freiwilliger Reaktion mit Sauerstoff und Wasser zu Salpetersäure umwandelt. Die Stickoxydbildung ist ein Vorgang, der unter Wärmeverbrauch verläuft und ohne Zufuhr von Energie nach thermodynamischer Überlegung erst bei den höchsten Temperaturen in merklichem Umfange freiwillig geschehen kann. Aber die bei gewöhnlicher Temperatur notwendige Energiezufuhr ist so klein, daß der Nachteil dieses Energiebedarfs überwogen wird durch den Vorteil, mit Luft und Wasser als Rohstoffen auszukommen. So würde es kein besseres und wirtschaftlicheres Verfahren geben können, um den Stickstoff zu binden, wenn ein Mechanismus zu finden wäre, der elektrische Energie ohne Verschwendung in diese Gestalt der chemischen Energie zu bringen er-

<sup>3)</sup> Auch gegenüber den Ergebnissen meiner ersten Untersuchung, die in Gemeinschaft mit *G. van Oordt* ausgeführt und im 43. Bande der Zeitschrift für anorganische Chemie im Januar 1905 zur Veröffentlichung gelangt ist, hat die Meinung noch lebhaften Ausdruck gefunden, daß es zur Vereinigung des Stickstoffes mit dem Wasserstoff der Mitwirkung eines dritten Stoffes, des Wasserdampfes, bedürfte (*Proceedings of the Royal Society Serie A*, Bd. 76, Nr. 508, Seite 167).

laubte. Das Vorbild der Natur, die die Reaktion auf der Bahn des Blitzes hervorbringt und *Cavendishs* früh erfolgreiche Nachahmung im Funken mußten mit der glänzenden Entwicklung der Elektrotechnik in den letzten Dezennien des vergangenen Jahrhunderts diesen Weg für die Lösung des Stickstoffproblems um so stärker in den Vordergrund rücken, je weniger die Fortschritte auf dem Wege der Bindung des Stickstoffs an den Wasserstoff die Fachwelt befriedigten. Die glänzende Entwicklung, die diese Bestrebungen im Anfang unseres Jahrhunderts genommen haben, ist allgemein bekannt. Die Hauptformen der technischen Gestaltung, die sich besonders an die Namen von *Birkeland* und *Eyde*, von *Schönherr* und von *Pauling* knüpfen, haben jahrelang im Vordergrunde des fachlichen Interesses gestanden. Technisch an einer Reihe von Stellen zu bedeutendem Umfange ausgebaut und offenbar in beachtlichem Maße geeignet, die Energie mächtiger gut ausnutzbarer Wasserfälle für chemische Zwecke zu verwerten, hat diese Methode der Stickstoffbildung doch den Umfang nicht erreicht, zu dem sie berufen schien. Als eine Sperre liegt vor ihrer Fortentwicklung die Erfahrung, daß mit dem Aufwande einer Kilowattstunde nicht über 16 g Stickstoff in Salpetersäure überführt werden, während eine vollkommene Umwandlung der elektrischen Energie in chemische Energie den 30fachen Betrag ergeben muß. Die Erklärung gaben *Muthmann* und *Hofer*, indem sie dartaten, daß der Hochspannungsbogen, den diese Verfahren verwenden, als ein heißkalter Raum im Sinne *Deville's* wirkt. Die Stickoxydbildung ist durch die theoretischen Verhältnisse im Bogen und in seiner Umgebung bestimmt und begrenzt. Die Festlegung des thermodynamischen Gleichgewichtes der Stickoxydbildung durch *Nernst* stützte diese Anschauung. Eine Extrapolation seiner Versuchsergebnisse und der besten Zahlen für die spezifische Wärme der beteiligten Gase bis auf die Temperatur von 3000 ° C oder 4000 ° C führte zu dem bemerkenswerten Schluß, daß mehr als das 1½fache oder Doppelte des technischen Ausbringens für die Kilowattstunde auch dann nicht zu erreichen war, wenn alle Rückbildung von Stickoxyd auf dem Abkühlungswege unterblieb. Die Quelle der geringen Ausbeute lag darin, daß die Erhitzung einer großen Luftmasse auf die höchsten Temperaturen nur einem kleinen Bruchteil die Umbildung in Stickoxyd thermodynamisch ermöglichte. Trotzdem dieser Rechnung aus verschiedenen Gründen keine erhebliche Genauigkeit beizumessen war, kam ihr Resultat doch der Wahrheit offenbar nahe. Durch Wärmereregeneration war eine bedeutende Energieersparnis nach praktischer Erfahrung nicht erreichbar, offenbar weil die Verschlechterung der Abschreckungswirkung, die damit verbunden war, im Gegensinne wirkte. Von der Bogenentladung loszukommen, war nicht

möglich, ohne den Boden der Arbeitsweisen zu verlassen, die dem Bedürfnis der Massenerzeugung entsprachen.

Aber es war vielleicht auch mit der Bogenentladung nicht völlig ausgeschlossen, von dem Temperaturgebiet loszukommen, indem die rasche Einstellung des thermodynamischen Gleichgewichtes jede günstigere Möglichkeit einer Umwandlung elektrischer Energie in chemische überdeckte. Der Bogen lebt ja von der ständigen Hervorbringung energiereicherer Gebilde in der Gestalt von Gasionen durch die elektrische Energie des Elektronenstoßes und es war nicht ohne weiteres einleuchtend, daß die nachfolgende Zerstreuung der Energie als Wärme jedes andere als das thermische Ergebnis der Stickoxydbildung ausschloß, zumal *Warburg* und *Leithäuser* nicht-thermische Ozonbildung durch stille elektrische Entladung nachgewiesen hatten.

Diese Möglichkeit besaß im ersten Dezennium unseres Jahrhunderts viel Interesse und hat mich seit dem Jahre 1907 zu Untersuchungen veranlaßt, die während mehrerer Jahre verfolgt wurden. Die Entwicklung der Dinge hat die Anschauungen in einem kurzen Jahrzehnt so verändert, daß es heute bereits schwer fällt, sich in die Auffassungen zurückzusetzen, die damals herrschten; aber kennzeichnend ist, daß eine so berufene und erfahrene Beurteilerin chemisch technischer Möglichkeiten wie die Badische Anilin- und Sodafabrik meine Bemühungen um eine bessere Ausnutzung der elektrischen Energie bei der Vereinigung von Stickstoff und Sauerstoff hoch genug bewertete, um im Jahre 1908 mit mir in Verbindung zu treten und mir durch ihre Hilfsmittel die Verfolgung des Gegenstandes zu erleichtern, während sie den Vorschlag, mich auch bei der Hochdrucksynthese des Ammoniaks zu unterstützen, mit aller Zurückhaltung aufnahm und nur zögernd genehmigte. In der Tat hing die Frage, ob der Schwerpunkt der technischen Fortarbeit auf die direkte Darstellung des Ammoniaks aus den Elementen zu legen sei, auch später noch für meine Auffassung wesentlich davon ab, ob der Aufwand von Energie bei der Bindung des Stickstoffs an den Sauerstoff sich erheblich vermindern ließ. In den technischen Fragen, in denen die Wage zwischen Erfolg und Mißerfolg schwankt, hängt die Entscheidung über das Gelingen oder Scheitern meistens an mäßigen Unterschieden im Energie- und Materialverbrauch, und Änderungen in diesen Werten, die innerhalb einer Zehnerpotenz gelegen sind, entscheiden über den Ausgang.

Deshalb habe ich mit einer Reihe ausgezeichneten Mitarbeiter die Arbeiten über die Stickstoffoxydbildung durch elektrische Entladung längere Zeit verfolgt<sup>4)</sup>. Ich habe das Druck-

<sup>4)</sup> Diese Untersuchungen sind abgedruckt in Zeitschrift für Elektrochemie Bd. 13, Seite 725 (1907), Bd. 14, Seite 689 (1908), Bd. 16, Seiten 789, 796, 803, 810 (1910). Siehe dazu auch Bd. 17, S. 217 (1911),



gebiet von 12 Atmosphären bis zu 25 mm Quecksilber durchgesucht, den Bogen von der Wandung und von der Anode her gekühlt und den Zusammenhang von Energieverbrauch und Frequenz bis zu etwa 50 000 Wechseln pro Sekunde verfolgt. Es wurden Stickoxydkonzentrationen von 10 % in Luft bei vermindertem Druck erreicht, die eine Abweichung vom thermodynamischen Gleichgewicht bedeuteten. Auch konnten Ausbeuten an gebundenem Stickstoff für die aufgewandte Kilowattstunde erreicht werden, die um 10 % bis 15 % den früher erwähnten technischen Wert von 16 g überholten. Aber diese Vorteile waren an sich nicht durchschlagend und wurden zudem durch Arbeitsweisen erzielt, die für die Übersetzung in einen großen Maßstab wenig günstig waren. So führte diese Gruppe von Untersuchungen zu einer Bestärkung der Meinung, daß die Lösung der technischen Aufgabe in der unmittelbaren Vereinigung des Stickstoffs mit dem Wasserstoff zu suchen sei.

Zu demselben Resultat leitete ein Studium der Stickoxydbildung in Druckflammen. Daß die Explosion der brennbaren Gase mit Stickstoff und Sauerstoff zu der Bildung von nitrosen Produkten führt, war seit *Bunsen* bekannt. *Liveing* und *Dewar* hatten die Salpetersäurebildung bei der Wasserstoffflamme unter Druck beschrieben. Es schien mir nötig, auch mit dieser Stickoxydquelle näher vertraut zu werden, bei der die Wärme als Energiequelle unter Bedingungen benutzt wird, die der Industrie besonders geläufig sind. Es lagen Vorschläge vor, die die Explosionsvorgänge zugleich motorisch verwerten und als Quelle der Stickoxydbindung verwenden wollten. Ich habe auf diese Verknüpfung zweier ganz verschiedener Aufgaben keine Hoffnungen gesetzt. Aber die Ausnutzung der Wärme von Flammgasen schien mir mit der Gewinnung von Stickoxyden nicht vereinbar und einer näheren Untersuchung wert<sup>5)</sup>. Sie ist auf die Flammen des Kohlenoxydes, des Wasserstoffs und des Acetylens erstreckt worden. Es ergab sich, daß auf 100 Moleküle der Verbrennungshauptprodukte, Kohlensäure und Wasserstoff, 3—6 Moleküle Salpetersäure erhalten werden konnten. Beim Kohlenoxyd und Wasserstoff bedurfte es dazu des erhöhten Druckes. Das Kohlenoxyd war vor den wasserstoffhaltigen Gasen im Vorteil, weil die Gegenwart des Wasserdampfes in den heißen Verbrennungsprodukten die Rückbildung des Stickoxydes in die Elemente auf dem Abkühlungswege begünstigte. Bei diesem Gas war das Molekularverhältnis des Stickoxydes zur Kohlensäure mit Luft leicht auf 3 : 100, mit einer sauerstoffreicheren Mischung auf das Doppelte zu

bringen. Für die technische Ausführung erwiesen sich diese Werte aber nicht als ein ausreichender Anreiz. Das Gewicht, das auf die unmittelbare Vereinigung des Stickstoffes mit dem Wasserstoff fiel, erfuhr dadurch abermals eine Verstärkung. Der Vereinigung von Stickstoff und Wasserstoff durch stille elektrische Entladung und durch den Funken bin ich nicht nachgegangen. Es schien mir sicher, daß dieser Weg sich nicht als der zweckmäßige erweisen würde. In letzter Linie entschied über jeden Weg das Verhältnis des Energieaufwandes zum Ausbringen oder, anders gefaßt, des Kohlenverbrauches zum Stickstoffgewinn, wobei ein Aufwand an Wasserkraft gleich dem äquivalenten Aufwand von Kohle zu rechnen war. Nichts aber erschien weniger hoffnungsvoll als der Gedanke, bei der erzwungenen Vereinigung von Stickstoff mit Wasserstoff mit so wenig Energie auszukommen, daß man noch den Aufwand für die Wasserstoffherstellung in Kauf nehmen konnte. Es blieb nur die Möglichkeit, die Bedingungen einer freiwilligen Ammoniakbildung aus den Elementen aufzufinden. Die positive Bildungswärme des Ammoniaks sprach für die Möglichkeit seiner Bildung ohne die Zuhilfenahme elektrischer Energie. Dagegen sprach, daß weder *Deville* noch *Ramsay* und *Young* aus Stickstoff und Wasserstoff in der Hitze Ammoniak erhalten hatten. *Ramsay* und *Young*, die 1884 beim Studium der Zersetzung des Gases in der Nähe von 800 °C stets eine Spur unzersetzten Ammoniaks beobachtet hatten, waren besonders bestrebt gewesen, bei der gleichen Temperatur diese Spur aus den Elementen mit Eisen als Überträger zu erhalten. Aber der Versuch war mit den reinen Gasen erfolglos verlaufen. Hier lag eine Undeutlichkeit vor, deren Aufklärung über die Möglichkeit einer unmittelbaren Ammoniakherzeugung aus den Elementen entschied. Ich habe deshalb damit begonnen, durch ziemlich grobe Versuche die ungefähre Lage des Ammoniakgleichgewichtes in der Nähe von 1000 °C zu bestimmen. Dabei erwies sich nun, daß die älteren Versuche nur durch einen Zufall negativ verlaufen waren; denn es gelang in der Nähe von 1000 °C leicht, mit Eisen als Kontaktstoff den gleichen Ammoniakgehalt von beiden Seiten zu erreichen. Die Ergebnisse der einzelnen Versuche schwankten zwischen  $\frac{1}{200}$  % und  $\frac{1}{80}$  %, und ich sah damals wegen einzelner herausfallender Zahlen die obere Grenze als den wahrscheinlichen Wert an, während sich später durch genauere Bestimmungen die untere als richtig herausgestellt, und die Quelle der höheren Werte in der Eigenschaft der Katalysatoren gefunden hat, in frischem Zustande vorübergehend das Gleichgewicht überschießende Ammoniakbildung herbeizuführen. Es ergab sich weiter, daß dasselbe Resultat mit Nickel wie mit Eisen zu erhalten war, und es wurden im Calcium und besonders im Mangan Kontaktstoffe gefunden, die auch bei niedriger Temperatur einen Zusammen-

Bd. 20, Seite 485 (1914) und Zeitschrift für angew. Chemie 1910, Seite 684.

<sup>5)</sup> Diese Untersuchungen sind abgedruckt in der Zeitschrift für phys. Chemie Bd. 66, S. 181 (1909), Bd. 67, S. 343 (1909), Bd. 69, S. 337 (1909), Zeitschrift für Elektrochemie Bd. 16, S. 814 (1910).

tritt der Elemente herbeiführten. Bei  $1000^{\circ}$  war die Reaktionsgeschwindigkeit ausreichend, um mit einer kleinen Menge fortlaufend eine vergleichsweise große Menge Ammoniak zu erzeugen. Durch eine Zirkulationseinrichtung, die den Gasstrom abwechselnd bei hoher Temperatur mit dem Metall in Berührung brachte und dann das Ammoniak bei gewöhnlicher Temperatur durch Auswaschen entfernte, ließ sich die Umbildung einer gegebenen Gasmasse zu Ammoniak schrittweise durchführen.

Aus der Bestimmung bei einem Druck, einer Temperatur und einer Ausgangsmischung von Stickstoff und Wasserstoff ließ sich nach dem Stande der Theorie das erreichbare Ergebnis für beliebige Temperaturen, Drucke und Mischungsverhältnisse von Stickstoff und Wasserstoff annähernd voraussagen. Aus der formelmäßigen Fassung war ohne weiteres die Erhöhung des erreichbaren Maximalgehaltes mit sinkender Temperatur, seine Proportionalität mit dem Gasdruck und die Tatsache vorauszusagen, daß eine Mischung von 3 Teilen Wasserstoff und 1 Teil Stickstoff die höchsten Ammoniakgehalte liefern mußte. Am wesentlichsten war die damals gewonnene Einsicht, daß von beginnender Rotglut aufwärts kein Katalysator mehr als Spuren Ammoniak in der günstigsten Gas Mischung erzeugen kann, wenn man bei gewöhnlichem Druck arbeitet und daß auch bei stark erhöhtem Druck die Lage des Gleichgewichtes stets sehr ungünstig bleiben mußte. Wenn man praktische Erfolge mit einem Katalysator bei gewöhnlichem Drucke erreichen wollte, so durfte man seine Temperatur nicht wesentlich über  $300^{\circ}$  steigen lassen. Damit schien mir im Jahre 1905 die weitere Verfolgung des Gegenstandes als aussichtslos gekennzeichnet. Die Herstellung der Verbindung aus den Elementen war wohl gelungen und die Bedingungen einer Synthese in größerem Stil physikalisch gekennzeichnet. Aber diese Bedingungen erschienen so ungünstig, daß sie von einer Vertiefung in den Gegenstand abschreckten. Denn die Auffindung von Kontaktstoffen, die noch in der Nähe von  $300^{\circ}$  eine flotte Einstellung des Gleichgewichtes bei gewöhnlichem Drucke lieferten, war mir völlig unwahrscheinlich. Sie sind auch in den inzwischen verflossenen 15 Jahren nirgends gefunden worden. Eine Durchführung der bei gewöhnlichem Drucke nachgewiesenen Ammoniakbildung unter hohem Druck konnte im Laboratoriumsmaßstabe keine ernstliche Schwierigkeit haben. Es bedurfte dazu nur einer geringen Umbildung des Druckofens, mit dem *Hempel* 15 Jahre früher die Stickstoffaufnahme bei der indirekten Ammoniakbildung unter Drucken bis zu 66 Atm. verfolgt hatte. Aber ich hielt sie nicht der Mühe für wert; denn ich unterlag damals dem verbreiteten Urteil, daß die technische Durchführung einer Gasreaktion bei beginnender Rotglut unter hohem Drucke unmöglich sei. Auf diesem Stande verblieb die

Sache während der nächsten 3 Jahre. Hingegen erwies sich eine neue Bestimmung des Ammoniakgleichgewichtes schon 1906 als erforderlich. Im Gange seiner Untersuchungen über das nach ihm benannte Wärmetheorem war Herr *Nernst* zu einer Näherungsformel gelangt, die aus den Werten der Wärmetönung und der sogenannten chemischen Konstanten eine Voraussage der Gleichgewichte erlaubte. Sie ergab beim Ammoniak eine Abweichung von den aus meinen ersten Bestimmungen gefolgerten Werten, die, wie später ersichtlich wurde, durch den damals benutzten Erstwert der konventionellen chemischen Konstante des Wasserstoffs hervorgerufen war<sup>6)</sup>. Diese Abweichung führte zu neuen Gleichgewichtsbestimmungen, die Herr *Nernst* in seinem Institut mit einem von ihm angegebenen Druckofen ausführen ließ, während ich in Gemeinschaft mit *Robert le Rossignol* die Bestimmungen unter gewöhnlichem Drucke mit größerer Sorgfalt als früher wiederholte. Weitere Arbeiten aus meinem Institut folgten, die der Feststellung des Gleichgewichtes bei gewöhnlichem Druck und bei 30 Atmosphären in einem erweiterten Temperaturbereich, der Ermittlung der Bildungswärme des Ammoniaks aus den Elementen bei gewöhnlicher Temperatur und an der Schwelle der Rotglut und schließlich der Kenntnis seiner spezifischen

<sup>6)</sup> Die Nernstsche Erstannahme über die chemische Konstante des Wasserstoffes ging dahin, daß diese Größe 2,2 sei. Mit dieser Annahme berechnete *Nernst* 1906—1907 aus den damals geltenden Werten für die maßgeblichen Wärmegrößen einen Gleichgewichtsgehalt an Ammoniak bei  $1000^{\circ}$  C, der erheblich kleiner war als die von mir als wahrscheinlich geschätzte Zahl. Als ihm Versuche in seinem Laboratorium niedrigere Werte lieferten, sah er darin eine Bestätigung seines Wärmetheorems. Aber kurz danach fand er sich veranlaßt, die Annahme über die chemische Konstante des Wasserstoffes zu ändern und dafür statt 2,2 die Zahl 1,6 einzuführen, bei der es geblieben ist. Fragt man nun, was die Folge gewesen wäre, wenn er seinerzeit (1906—1907) alsbald den von ihm später als richtig erkannten Wert von 1,6 bei sonst völlig gleichen Voraussetzungen und gleicher Rechenweise benutzt hätte, so sieht man leicht, daß er einen 5mal größeren Gleichgewichtsgehalt an Ammoniak errechnet und damit zu dem Schlusse gekommen wäre, daß meine Schätzung nicht zu hoch, sondern zu niedrig sei. Die Abweichung seiner Berechnung von meiner Schätzung war also rein zufällig, und eine Übereinstimmung hätte so wenig für das Wärmetheorem bewiesen, wie die Differenz dagegen besagte. Dieser Sachverhalt wird noch stärker durch den Umstand herausgehoben, daß zur Zeit der ersten Nernstschen Berechnung weder die Bildungswärme des Ammoniaks, noch seine spezifische Wärme ausreichend bekannt waren. Angesichts dieser Sachlage habe ich 1914 (*Zeitschrift für angew. Chemie*, Jahrg. 27, S. 474) betont, daß „sämtliche in der Nernstschen Näherungsgleichung auftretenden numerischen Werte, nämlich die Summe der chemischen Konstanten der drei Gase Stickstoff, Wasserstoff und Ammoniak, der Unterschied ihrer spezifischen Wärmen und die Bildungswärme des Ammoniaks aus den Elementen andere Werte angenommen haben“. Ich wiederhole diesen Hinweis, da er nicht ausgereicht hat, irrtümliche geschichtliche Darstellungen über den Zusammenhang des Nernstschen Theorems mit dem  $\text{NH}_3$ -Gleichgewicht zum Verschwinden zu bringen.



Wärme bei erhöhter Temperatur gewidmet waren<sup>7)</sup>. Sie lieferten die Unterlagen für die Berechnung der folgenden Gleichgewichtstabelle.

Bildungsgrad des Ammoniaks (in Prozenten)  
bei verschiedenen Temperaturen.

| t<br>°C | T<br>°Abs. | $\frac{P_{NH_3}}{P_{N_2}^{1/2} P_{H_2}^{3/2}}$ | $-\log \frac{P_{NH_3}}{P_{N_2}^{1/2} P_{H_2}^{3/2}}$ | $\frac{\% NH_3 \text{ im Gleichgewicht mit Stickstoff-Wasserstoffmischung}}{3 \text{ Vol. } H_2 + 1 \text{ Vol. } N_2}$ |      |      |      |
|---------|------------|--|--|---|------|------|------|
|         |            |  |  | bei Atm.  |      |      |      |
|         |            |  |  | 1   | 30   | 100  | 200  |
| 200     | 473        | 0,1807   | 0,660  | 15,3  | 67,6 | 80,6 | 85,8 |
| 300     | 573        | 1,1543   | 0,070  | 2,18  | 31,8 | 52,1 | 62,8 |
| 400     | 673        | 1,8608   | 0,0138   | 0,44  | 10,7 | 25,1 | 36,3 |
| 500     | 773        | 2,3983   | 0,0040   | 0,129   | 3,62 | 10,4 | 17,6 |
| 600     | 873        | 2,8211   | 0,00151  | 0,049   | 1,43 | 4,47 | 8,25 |
| 700     | 973        | 3,1621   | 0,00069  | 0,223   | 0,66 | 2,14 | 4,11 |
| 800     | 1073       | 3,4417   | 0,00036  | 0,0117  | 0,35 | 1,15 | 2,24 |
| 900     | 1173       | 3,6736   | 0,000212   | 0,0069  | 0,21 | 0,68 | 1,34 |
| 1000    | 1273       | 3,8679   | 0,000136   | 0,0044  | 0,13 | 0,44 | 0,87 |

Im Gange dieser Untersuchungen bin ich 1908 in Gemeinschaft mit meinem jüngeren Freunde und Mitarbeiter *Robert le Rossignol*, dessen ich an dieser Stelle mit besonderer Herzlichkeit und besonderem Danke gedenke, an die drei Jahre zuvor verlassene Aufgabe der Ammoniakdarstellung wieder herangetreten. Ich war unmittelbar zuvor mit den Arbeitshilfsmitteln der Luftverflüssigung vertraut geworden, hatte gleichzeitig Einblick in die Formiatindustrie erhalten, die strömendes Kohlenoxyd auf Alkali in der Wärme unter erhöhtem Drucke zur Einwirkung brachte und hielt es nicht mehr für ausgeschlossen, in technischem Maßstabe Ammoniak bei hohem Druck und hoher Temperatur zu erzeugen. Aber die ungünstige Beurteilung durch die Fachgenossen belehrte mich, daß es eines eindrucksvollen Fortschrittes bedurfte, um das technische Interesse für den Gegenstand zu wecken.

vollen Fortschrittes bedurfte, um das technische Interesse für den Gegenstand zu wecken.

Es war zunächst klar, daß der Übergang zu möglichst hohem Drucke vorteilhaft war. Die Lage des Gleichgewichtes wurde dadurch günstiger und für die Reaktionsgeschwindigkeit ließ sich das gleiche erwarten. Der Kompressor, über den wir verfügten, erlaubte die Verdichtung der Gase auf 200 Atmosphären und bestimmte damit den Arbeitsdruck, der für größere Versuchsreihen nicht bequem zu überschreiten war. In der Nähe dieses Druckes lieferten die Katalysatoren, mit denen wir durch die Gleichgewichtsbestimmungen bekannt geworden waren, vorzugsweise Mangan, nächst ihm Eisen oberhalb 700° mit Leichtigkeit eine rasche Vereinigung des Stickstoffs mit dem Wasserstoff. Für ein eindrucksvolles Ergebnis aber bedurfte es der Auffindung von Kontakten, die zwischen 500 und 600° einen flotten Umsatz herbeiführten. Wir kamen auf den Gedanken, die sechste, siebente und achte Gruppe des periodischen Systems, deren Spitzenmetalle Chrom, Mangan, Eisen und Nickel ein ausgeprägtes, katalytisches Vermögen besaßen, nach Metallen zu durchsuchen, die noch günstiger wirkten, und entdeckten solche im Uran und Osmium. Dabei fanden wir für die große Abhängigkeit, in der die Leistung eines Kontaktes von der Art seiner Herstellung stand, beim Osmium ein besonders ausgeprägtes Beispiel. Mit ihrer Hilfe ließen sich bei 200 Atmosphären die beiden Forderungen erfüllen, die wir an eine technisch überzeugende Ausführung des Versuches stellen zu müssen glaubten: die eine betraf den Gehalt an Ammoniak, die andere die pro ccm des Kontaktraumes und Stunde erzeugte Ammoniakmasse: mit einem Gehalte von rund 5 % war die 1905 beschriebene Umlaufvorrichtung nicht mehr die Darstellung einer Bildungsweise, sondern ein Herstellungsverfahren. Bei einer Ausbeute von mehreren Gramm Ammoniak pro Stunde und Kubikzentimeter des geheizten Hochdruckraumes konnten dessen Abmessungen so klein bleiben, daß die Bedenken der Industrie nach unserer Auffassung schwinden mußten.

Es bedurfte schließlich noch eines Aufbaues der Zirkulationseinrichtung, die als ein Modell der technischen Durchführung gelten konnte. Es wäre nicht zweckmäßig gewesen, die Bildung und die Entfernung des Ammoniaks aus dem Gasstrom durch eine Entspannung zu trennen. Der Wechsel von Ammoniakherzeugung und Ammoniakabscheidung mußte offenbar bei konstantem Hochdruck am einfachsten durchführbar sein. Wesentlich erschien, daß die bei der Ammoniakbildung erzeugte Wärme den vom Kontakt abziehenden Gasen, in denen sie lediglich störend wirkte, entzogen und auf das Frischgas übertragen wurde, damit der Vorgang die für seinen Ablauf erforderliche Temperatur durch seine eigene Wärmeherzeugung lieferte. Der gemeinsam mit *Robert le Rossignol* durchgeführte Bau und Betrieb einer kleinen Anordnung, die diesem Ge-

<sup>7)</sup> Die Ergebnisse waren in Kürze die folgenden:

a) Wahre spezifische Wärme  $c_p$  des Ammoniakgases pro Mol bei konstantem Druck zwischen 309° und 523 °C

$$c_p = 8,62 + 3,5 \cdot 10^{-3} t + 5,1 \cdot 10^{-6} t^2.$$

b) Bildungswärme  $Q$  des Ammoniakgases bei konstantem Druck in Grammcalthorien pro Mol aus den Elementen bei t° C

$$Q = 10950 + 4,85 t - 0,93 \cdot 10^{-3} t^2 - 1,7 \cdot 10^{-6} t^3.$$

c) Prozentgehalte an Ammoniak im Gleichgewichte mit Stickstoff-Wasserstoffmischung

$$(3 \text{ Vol. } H_2 + 1 \text{ Vol. } N_2).$$

Für die Berechnung der obigen Tabelle ist der Ausdruck benutzt:

$$\log_{10} \frac{P_{NH_3}}{P_{N_2}^{1/2} P_{H_2}^{3/2}} = \frac{9591}{4,571 T} - \frac{498}{1,985} \log T - \frac{0,00046}{4,571} + \frac{0,85 \cdot 10^{-6}}{4,571} T^2 + 2,10$$

Auch Ausdrücke mit höheren Gliedern für die Temperatur lassen sich den Beobachtungen anpassen. Ein rationeller Ausdruck wird erst aufgestellt werden können, wenn eine rationelle Darstellung der spezifischen Wärme aller drei beteiligten Gase geglückt ist.

Die abschließenden Untersuchungen sind abgedruckt in Zeitschrift f. Elektrochemie Bd. 20 (1914), 597, Bd. 21 (1915), 89, 129, 191, 207, 228, 241. Die vorangehenden Arbeiten über den gleichen Gegenstand sind in Bd. 21 (1915), 89, zusammengestellt.

sichtspunkte entsprach, verbunden mit der Leistung der erwähnten neuen Kontakte, genügten in der Tat, um die Badische Anilin- und Sodafabrik, die zuvor dem indirekten Wege der Ammoniakdarstellung mittels der Nitride des Aluminiums, des Siliciums und Titans ihre Arbeit gewidmet hatte; zur Aufnahme der Hochdrucksynthese aus den Elementen zu bestimmen<sup>8)</sup>.

Die Firma hat danach die Kontakte mit wesentlich größeren Hilfsmitteln im weiten Umfange studiert und in der Temperatur, die bei ihrer Herstellung innegehalten wird, und besonders in dem absichtlichen Zusatz indifferenten Stoffe Mittel gefunden, um die Leistung schlechterer Katalysatoren auf die des Osmiums und Urans zu bringen. Das Ergebnis war namentlich wichtig bei dem klassischen Ammoniakkontakt, den Ramsay und Young für die Zerlegung bevorzugt hatten, nämlich dem Eisen. Für die Konstruktion des Ofens fand sie eine Verbesserung, die die bei längerem Gebrauche von ihr beobachtete Einwirkung des Wasserstoffs auf den Kohlenstoffgehalt des Stahls beseitigte. Die Hauptarbeit erwuchs der Firma aber aus der Vertauschung des elektrolytischen Wasserstoffs, mit dem unsere Versuche ausgeführt waren, gegen den Wasserstoff des Wassergases, der Verunreinigungen mit sich führte. Die Schwierigkeiten, die der technische Leiter, Herr Dr. Bosch, zu überwinden hatte, ähneln denen, die sein Vorgänger Knietzsch bei der technischen Durchführung des Schwefelsäure-Kontaktprozesses gleich erfolgreich bewältigt hat. Direktor Bosch hat aus der Synthese des Ammoniaks eine Großindustrie gemacht.

Von äußeren Merkmalen der Laboratoriumsarbeit sind in dem heutigen Großbetriebe der Arbeitsdruck in der Nähe von 200 Atmosphären, die Arbeitstemperatur von ungefähr 500 und 600°, der Umlauf unter dauerndem Hochdruck, die Art der Wärmeübertragung vom Abgas auf das Frischgas erhalten geblieben<sup>9)</sup>.

<sup>8)</sup> Die Versuche von Le Rossignol und mir sind in einem Berichte niedergelegt, der mit Weglassung gewisser Zahlenangaben, deren Bekanntgabe der Badischen Anilin- und Sodafabrik aus patenttechnischen Gründen erwünscht war, in Zeitschrift für Elektrochemie Bd. 19 (1913), 53, 3½ Jahre nach seiner Mitteilung an die Firma zum Abdruck gelangt ist. Der Patentschutz der Ergebnisse ist in Deutschland nach dem Wunsche der Firma auf ihren Namen durch D. R. P. 235 421 bewirkt worden. Unsere in diesem Patente beschriebene Arbeitsweise deckt sich mit der technischen Ausführung im großen. Das Zusatzpatent D. R. P. 252 275 und das noch etwas später angemeldete selbständige D. R. P. 238 450 stellen Erweiterungen dar, durch die Umgehungen erschwert werden sollten. Der Umstand, daß die Firma die Anmeldung des D. R. P. 238 450, in welchem die Synthese bei mehr als 100 Atmosphären geschützt wird, auf meinen Namen für zweckmäßig gehalten hat, ist die Quelle des sonderbaren Irrtums geworden, daß der Schwerpunkt meiner Arbeit in der Überschreitung von Drucken bei der Synthese gelegen hätte, die weniger als 100 Atmosphären betragen.

<sup>9)</sup> In Italien hat die Technik neuerdings begonnen, die Hochdrucksynthese des Ammoniaks in unmittelbarem Anschluß an die von L. Rossignol und mir be-

In jüngster Zeit hat Claude eine Verbesserung des Verfahrens durch Verwendung eines Druckes von 1000 Atmosphären angekündigt. Das Druckgebiet in der Nähe von 200 Atmosphären ist seinerzeit nur darum gewählt worden, weil es nach dem Stande der Kompressortechnik die Grenze des bequem zugänglichen Bereiches darstellte. Ich bin selbst bei späteren Versuchen zusammen mit Herrn Greenwood bis auf 370 Atmosphären gegangen. Ein grundsätzliches Interesse hat der höhere Druck nur dann, wenn er die Temperatur der flotten Umsetzung erheblich hinabdrückt, ohne neue technische Schwierigkeiten zu schaffen.

Aus der mitgeteilten Gleichgewichtstabelle ersieht man, daß der Übergang von gewöhnlichem Druck zu 200 Atmosphären die günstigen Gleichgewichtsbedingungen, die zwischen 200° und 300° C bestehen, bei einer Temperatur schafft, die 300° höher liegt und die Katalysatoren zu kräftiger Wirkung befähigt. Warum es dafür der höheren Temperatur bedarf, ist eine Frage, deren Beantwortung wir einer erleuchteteren Periode der Wissenschaft überlassen müssen. Die heterogene Katalyse der Gasreaktionen ist ein Vorgang, dessen erste Phase anscheinend eine elektrodynamische Verzerrung des Moleküls durch die Atomfelder an der Grenze des festen Kontaktstoffes gegen den Gasraum, also eine Erscheinung aus einem Gebiete der Molekularphysik darstellt, in das wir durch Starks Entdeckung eben erst den ersten Einblick getan haben.

Die Synthese des Ammoniaks aus den Elementen ist ein Ergebnis, das der physikalischen Chemie nicht entgehen konnte. Den Gedanken der Umkehrbarkeit des Ammoniakzerfalls haben schon Deville und Ramsay und Young gehabt. Le Chatelier hat den Temperatur- und Druckeinfluß schon 1901 überlegt. Mißerfolg des ersten synthetischen Versuches aber hat ihn bestimmt, den Gegenstand zu verlassen und die angestellten Erwägungen nur in der Verborgenheit einer französischen Patentschrift unter fremdem Namen auszusprechen. Ich selbst habe erst längere Zeit nach dem erfolgreichen Abschluß meiner Versuche davon Kenntnis erhalten<sup>10)</sup>.

schriebenen Versuche mit elektrolytischem Wasserstoff ohne Benutzung der Böschschen Wasserstoffdarstellung aus Kohle in Gebrauch zu nehmen. Man verwendet, soweit ich unterrichtet bin, eine Temperatur von etwa 500° C und einen Druck von 450 Atmosphären. Der gesamte Energieverbrauch wird mit 19–20 Kilowattstunden für das Kilogramm gebundenen Stickstoffes, also zu rund ¼ des Wertes angegeben, der bei der Überführung des Stickstoffs durch den Lichtbogen in Salpetersäure verlangt wird. Die neben dem Wasserstoff bei der Elektrolyse anfallenden großen Mengen Sauerstoff bleiben bei dem Verfahren der Ammoniakherzeugung selbst ohne Verwendung.

<sup>10)</sup> Der Wunsch, an der Synthese des Ammoniaks beteiligt zu erscheinen, nimmt seine seltsamste Form in einem Lehrbuche der Chemie an, dessen 1. Band Herr Professor Max Trautz in diesem Frühjahr hat erscheinen lassen. Dort wird die Synthese Herrn Trautz zugeschrieben. Die Unterlage bildet eine



Die gefundene Lösung der Aufgabe nimmt ihre Bedeutung daher, daß das Gebiet der sehr hohen Temperaturen nicht betreten wird und das Verhältnis von Kohleaufwand zu Stickstoff-erzeugung darum günstiger ausfällt als bei anderen Verfahren. Das Ergebnis reicht anscheinend aus, um uns in Gemeinschaft mit den anderen Formen der Stickstoffbindung, die ich gestreift habe, der Zukunftssorge zu entheben, die uns die drohende Erschöpfung der Salpeterlager vor zwanzig Jahren bereitet hat.

Vielleicht ist diese Lösung keine endgültige. Die Stickstoffbakterien lehren, daß die Natur in den verfeinerten Formen der Lebenschemie noch Möglichkeiten kennt und verwirklicht, deren Nachahmung sich vorerst unserem Können entzieht. Genug, daß inzwischen neuer Reichtum an Nahrung der Menschheit aus reicherer Stickstoffdüngung des Bodens zufließt und die chemische Industrie dem Landmann zu Hilfe kommt, der auf der friedlichen Erde Steine in Brot verwandelt.

### Alkohol und Zahlenverhältnis der Geschlechter bei einer getrennt- geschlechtigen Pflanze (*Melandrium*).

Von C. Correns, Berlin-Dahlem.

In einer Abhandlung, die 1921 in den Sitzungsberichten der Berliner Akademie erschienen ist<sup>1)</sup>, zeigte A. Blum in einwandfreier Weise, daß man bei weißen Mäusen durch Alkoholisierung der Männchen die Zahl der männ-

deutsche Patentaumeldung, die Herr Trautz am 3. Oktober 1904 eingereicht hat. Sie ist am 2. Januar 1906 zur Auslegung gekommen, nachdem meine eigenen Versuche am 16. Januar 1905 in der Zeitschrift für anorg. Chemie erschienen waren. Mir selbst ist sie erst im Juni 1922 dadurch zur Kenntnis gekommen, daß sie mir von der Badischen Anilin- und Sodafabrik auf meine durch das Trautzsche Buch veranlaßte Anfrage übermittelt wurde. Den Hauptinhalt der Anmeldung bildet die Angabe, daß beim Überleiten von Gemischen aus Stickstoff und Wasserstoff über Calcium, Barium, Strontium, Magnesium und Lithium bzw. deren Hydride und Nitride schon bei niederen Temperaturen zwischen 200° und 400° C bei gewöhnlichem Druck dauernd bis 4% Ammoniak aus den Elementen gebildet werden. Die Badische Anilin- und Sodafabrik hat seinerzeit gegen die Anmeldung Einspruch erhoben mit der offenbar durchaus zutreffenden Begründung, daß man nach ihren Angaben überhaupt kein Ammoniak oder höchstens Spuren erhält. Herr Professor Trautz hat daraufhin die Anmeldung zurückgezogen. Druckschriftliche Veröffentlichungen von Herrn Trautz über die Ammoniaksynthese aus der Zeit vor dem Erscheinen seines Lehrbuches (1922) sind mir nicht bekannt.

<sup>1)</sup> Blum, Agnes, Über einen Fall experimenteller Verschiebung des Geschlechtsverhältnisses bei Säugetieren. Sitzb. d. Preuß. Akad. d. Wissenschaften, Sitzg. v. 7. Juli 1921. Ferner: Alkohol und Nachkommenschaft. Sammelreferat in der Zeitschr. f. indukt. Abstamm.- und Vererb.-Lehre Bd. XXVIII, S. 75 (1922). Dort auch eine kritische Besprechung der einschlägigen Angaben früherer Forscher.

lichen Jungen erheblich steigern kann. Bei den Kontrollwürfen waren 44,24% Männchen gefunden worden, nachdem die Böcke mit Alkohol behandelt worden waren dagegen 54,76%. Als ihnen dann der Alkohol wieder entzogen worden war, sank die Prozentzahl der männlichen Jungen auf die ursprüngliche Größe resp. blieb, wohl nur zufällig, etwas darüber.

Solche Versuche, durch äußere Eingriffe das Geschlechtsverhältnis zu verändern, waren bei Tieren und Pflanzen schon oft gemacht worden. Seitdem wir den Modus der Geschlechtsbestimmung kennen und wissen, daß eines der Geschlechter zweierlei verschiedenartige Keimzellen hervorbringt — nämlich männchen- und weibchenbestimmende oder -bestimmte —, war die Aussicht des Gelingens und der Erklärung gesteigert, besonders als (bei *Melandrium*) durch Variieren der Pollenmenge bei der Bestäubung der experimentelle Beweis geglückt war dafür, daß die beiderlei Keimzellen ein verschiedenes physiologisches Verhalten zeigen können<sup>2)</sup>. Von schädigenden Einflüssen war zum Beispiel (wieder bei *Melandrium*) das Alternlassen des Blütenstaubes erkannt, das eine Zunahme der männlichen Nachkommen bedingt. Es war aber schon lange meine Absicht gewesen, auch einen einfachen chemischen Eingriff bei den Pollenkörnern zu studieren und zuzusehen, ob sich auch auf diese Weise das Zahlenverhältnis der Geschlechter verschieben ließe. Die positiven Ergebnisse von A. Blum veranlaßten mich, den Alkohol dafür zu wählen, obwohl E. Strasburger<sup>3)</sup> früher einmal (in viel zu kleinen Versuchen) damit gar kein Resultat erhalten hatte.

Verwendet wurden vier Weibchen und ein Männchen. Die reifen, ganz frisch aufgesprungenen Staubbeutel wurden teils direkt zu Kontrollbestäubungen benutzt, teils in offenen Petrischalen in Exsikkatoren über 94prozentigen Alkohol gebracht. Für jede Einwirkungsdauer war ein besonderes Gefäß vorbereitet. Nach bestimmten Zeitabschnitten, zwischen 30 und 120 Minuten, wurden die Schalen herausgenommen, und der Pollen gleich zu Bestäubungen verwendet. Nach 30 Minuten erhielt ich stets Fruchtausatz, ganz ausnahmsweise noch nach 80 Minuten. Im übrigen verhielt sich der Pollen bei den einzelnen Bestäubungen und an verschiedenen Tagen sehr ungleich; ja, Pollen vom selben Tage und aus der gleichen Schale, also ganz gleich behandelt, konnte die einen Blüten befruchten, die anderen nicht. Ich glaube das darauf zurückführen zu

<sup>2)</sup> Eine Zusammenfassung der bisher bei *Melandrium* gefundenen Tatsachen in der *Hereditas*: Versuche, bei Pflanzen das Geschlechtsverhältnis zu verschieben, Bd. II, 1921; Lund. Über die ersten Versuche habe ich selbst in dieser Zeitschrift referiert (Die Konkurrenz der männlichen um die weiblichen Keimzellen und das Zahlenverhältnis der beiden Geschlechter, 1918, S. 277).

<sup>3)</sup> Strasburger, E., Versuche mit diöcischen Pflanzen in Rücksicht auf Geschlechtsverteilung. Biol. Centralbl. Bd. XX, S. 764 (1900).

dürfen, daß der Blütenstaub, der nicht fest zusammenhält, aber auch nicht lose pulverig ist, bald dichtere, bald lockerere, größere und kleinere Flocken bildet, bei denen die peripherisch gelegenen Körner die tieferliegenden mehr oder weniger lange schützen können. Eine gleitende Abstufung der Alkoholwirkung, wie sie mir vorgeschwebt hatte, war nicht zu erreichen.

Jahre, so daß die mitzuteilenden Ergebnisse definitiv sind. Irgendwelche auffallende Unterschiede in der Keimung oder im Aussehen der Nachkommen, je nachdem der Pollen den Alkoholdämpfen ausgesetzt gewesen war oder nicht, waren nicht zu erkennen. Dagegen zeigte sich, wie die Tabelle beweist, ein sehr deutlicher Einfluß auf das Geschlechtsverhältnis.

## A. Kontrolle.

| ♀    | I. 1 Anthere   |                             |      |                | II. Pollenspuren |                             |      |                 | Differenz<br>II - I<br>(% ♂) |
|------|----------------|-----------------------------|------|----------------|------------------|-----------------------------|------|-----------------|------------------------------|
|      | Zahl der Kaps. | mittlere Sa.-Zahl pro Kaps. | n    | % ♂            | Zahl der Kaps.   | mittlere Sa.-Zahl pro Kaps. | n    | % ♂             |                              |
| 1182 | 3              | 310<br>+ 19                 | 685  | 7,6            | 8                | 88<br>+ 2                   | 515  | 25,4            | + 17,8                       |
| 1214 | 2              | 304<br>+ 3                  | 541  | 8,5            | 6                | 114<br>+ 3                  | 688  | 23,6            | + 15,1                       |
| 1246 | 3              | 232<br>+ 1                  | 638  | 8,6            | 8                | 77<br>+ 1                   | 545  | 16,3            | + 7,7                        |
| zus. |                |                             | 1864 | 8,21<br>± 0,64 |                  |                             | 1748 | 21,85<br>± 0,99 | + 13,64<br>± 1,18            |
| 1170 |                |                             |      |                | 4                | 86<br>+ 1                   | 284  | 18,3            |                              |

## B. Alkoholdämpfe.

|      | III. 30 Minuten |                          |                   |                 | IV. 40 Minuten |                          |     |                 | V. 60 Minuten |                          |     |                 | IV + V |                 | Differenz<br>(IV + V) - II<br>(% ♂) |
|------|-----------------|--------------------------|-------------------|-----------------|----------------|--------------------------|-----|-----------------|---------------|--------------------------|-----|-----------------|--------|-----------------|-------------------------------------|
|      | Zahl d. Kaps.   | mittl. Sa.-Zahl p. Kaps. | n                 | % ♂             | Zahl d. Kaps.  | mittl. Sa.-Zahl p. Kaps. | n   | % ♂             | Zahl d. Kaps. | mittl. Sa.-Zahl p. Kaps. | n   | % ♂             | n      | % ♂             |                                     |
| 1182 | 3               | 264<br>+ 7               | 552               | 25,9            | 3              | 52<br>+ 0                | 131 | 38,2            | 3             | 108<br>+ 0               | 237 | 43,0            | 368    | 41,3            | 15,9                                |
| 1214 | 2               | 289<br>+ 8               | 540 <sup>4)</sup> | 18,3            | 2              | 46<br>+ 2                | 87  | 36,8            | 2             | 107<br>+ 1               | 204 | 32,5            | 291    | 33,7            | 10,1                                |
| 1246 | 3               | 246<br>+ 3               | 666               | 21,6            | 3              | 37<br>+ 1                | 101 | 38,6            | 3             | 57<br>+ 0                | 164 | 36,6            | 265    | 37,4            | 21,1                                |
| zus. |                 |                          | 1758              | 21,96<br>± 0,99 |                |                          | 319 | 37,93<br>± 2,72 |               |                          | 605 | 37,69<br>± 1,97 | 924    | 37,77<br>± 1,59 | 15,92<br>± 1,72                     |
| 1170 |                 |                          |                   |                 |                |                          |     |                 | VI. 80 Min.   |                          |     |                 |        |                 |                                     |
|      |                 |                          |                   |                 |                |                          |     |                 | 4             | 75<br>+ 1                | 262 | 28,2            |        |                 | 9,9                                 |

4) Dazu ein Zwitter.

Bei den Kontrollbestäubungen wurde einerseits der Inhalt einer ganzen Anthere verwendet, also ein starker Überschuß, durch den eine ziemlich scharfe Konkurrenz zwischen den männchenbestimmenden und weibchenbestimmenden Pollenkörnern um die Samenanlagen gegeben war, andererseits so wenig Pollen, daß die Konkurrenz aufgehoben war. Von dem Pollen, der mit Alkoholdämpfen behandelt worden war, wurde mehr, aber doch nur soviel gebraucht, daß die Konkurrenz keine oder doch keine wesentliche Rolle mehr spielen konnte.

Die Ernte konnte nur zum Teil ausgesät werden. Die Sämlinge blühten fast alle im ersten

In der Tabelle folgt auf die Versuchspflanze die Zahl der Kapseln, deren Samen ausgesät wurden, dann die durchschnittliche Zahl der Samen in einer Kapsel, wobei die sicher guten und die fraglichen zusammengerechnet, die sicher tauben aber mit dem +-Zeichen getrennt aufgeführt sind. Hierauf kommt die Zahl der Sämlinge, die zum Blühen gekommen ist (n), endlich die Prozentzahl männlicher Pflanzen. Das Weibchen 1170, von dessen Ernte besonders wenig ausgesät wurde, ist getrennt aufgeführt.

Der Zufall hatte mir ein Männchen in die Hand gespielt, das besonders viel Weibchen gab. stark „thelygon“ war, eine Erscheinung, auf die



ich an dieser Stelle nicht eingehen kann. Die Folge davon war, daß bei den Kontrollversuchen, selbst nach Ausschluß der sehr wirksamen Konkurrenz, das „proximale“ Geschlechtsverhältnis<sup>5)</sup> noch sehr stark von dem mechanischen 1:1 abwich. Es gab nur zwischen 16,3 und 25,4 % Männchen, während sich nach der nicht einmal besonders scharfen Konkurrenz (bei einem noch nicht „distalen“ Geschlechtsverhältnis) sogar nur zwischen 7 und 9 % Männchen fanden, also etwa die Hälfte oder ein Drittel. Für alle Versuche zusammen macht die Differenz 13,64 % aus. Ihr mittlerer Fehler  $m$  ist  $\pm 1,18$ ; sie ist also etwa 12mal größer.

Die Tabelle zeigt ferner, daß nach längerer Wirkung der Alkoholdämpfe (40, 60 und 80 Minuten) die Zahl der befruchteten Samenanlagen, und damit die Zahl der noch befruchtungstauglichen Pollenkörner stark herabgesetzt ist. Obwohl eine genaue Dosierung nicht möglich ist, wurde immer doch, wie schon gesagt, annähernd gleichviel Alkohollpollen verwendet.

Nach einer Einwirkung von 30 Minuten wurden noch nahezu ebensoviel Samenanlagen befruchtet wie bei reichlicher Bestäubung, nach 40 und 60 Minuten nur noch ein Drittel bis ein Sechstel. Auf das Verhältnis gute + fragliche Samen : tauben Samen hat die Behandlung — wider Erwarten — keinen deutlichen Einfluß gehabt.

Um so auffälliger ist die Wirkung der Alkoholdämpfe auf das Geschlechtsverhältnis. Wir haben hier offenbar zweierlei auseinander zu halten.

Zunächst muß der Alkohol schon dadurch, daß er die Pollenkörner nach und nach abtötet oder doch untauglich macht, dahin wirken, daß, gegenüber der Kontrollbestäubung mit gleichviel frischen Körnern, die relative Zahl der männlichen Nachkommen zunimmt, solange die Zahl der verwendeten Pollenkörner die Zahl der befruchtungstauglichen Samenanlagen wesentlich übersteigt. Ist sie geringer, so fällt diese Wirkung des Alkohols aus. Denn wenn einmal die Konkurrenz aufgehoben ist, ist es für das Zahlenverhältnis der Geschlechter (natürlich nicht für die Zahl der Samen pro Kapsel) gleich, wieviel Pollenkörner auf die Narbe gebracht werden, ob 200 oder 20, wenn nur das Reifungsminimum<sup>6)</sup> erreicht wird. Eine reichliche Bestäubung mit Pollen, der genügend lange dem Alkoholdampf ausgesetzt war, muß daher dasselbe Ergebnis haben, wie eine sehr spärliche mit frischem. In beiden Fällen ist dasselbe „proximale“ Zahlen-

verhältnis der Geschlechter zu erwarten, und deshalb sind die Kontrollbestäubungen mit wenig Pollen (Abteilung II der Tabelle) gemacht worden.

Diese Wirkung des Alkohols kann aber nie relativ mehr Männchen bedingen, als dem proximalen Verhältnis entsprechen. Findet man die Zahl der männlichen Nachkommen weiter gesteigert, so muß der Alkohol irgendeinen anderen Einfluß auf die männchenbestimmenden Keimzellen haben als auf die weibchenbestimmenden.

Die Versuche, bei denen der Alkoholdampf nur 30 Minuten eingewirkt hat (Abteilung III der Tabelle), sind nicht entscheidend. Die Männchenprozentage entsprechen genau denen nach Ausschluß der Konkurrenz, und da der Samenansatz in den Kapseln fast normal und die verwendete Pollenmenge nicht genau bekannt ist, muß es dahingestellt bleiben, ob bei einem Überschuß von Pollenkörnern die Alkoholkwirkung oder bei einer gerade ausreichenden Pollenmenge der Ausschluß der Konkurrenz an dem beobachteten Verhältnis schuld ist.

Nach einer Einwirkung von 40 und 60 Minuten dagegen ist das Ergebnis klar. Faßt man, was gewiß erlaubt ist, beide Versuchsreihen (Abteilung IV und V) zusammen und stellt sie der Kontrollreihe mit wenig Pollen (Abteilung II) gegenüber, so sind infolge der Alkoholkwirkung 15,92 % Männchen mehr entstanden. Der mittlere Fehler der Differenz,  $m = \pm 1,72$ , macht noch nicht ihren neunten Teil aus; sie ist also ganz sichergestellt. Aber auch jede einzelne Versuchspflanze gibt, sowohl für 40 als für 60 Minuten, schon dasselbe Resultat.

Das Ergebnis der Versuche bei *Melandrium* ist also genau dasselbe, das *A. Blum* bei einem ganz anderen Objekte, den weißen Mäusen, erhalten hat: eine Zunahme der relativen Männchenzahl bei der Nachkommenschaft.

Worin besteht aber diese Wirkung des Alkohols? *A. Blum* macht für ihre Objekte wahrscheinlich, daß die Beweglichkeit der beiderlei Spermatozoen ungleich herabgesetzt wird; die narkotische Wirkung des Alkohols ist bei den Weibchenbestimmern größer, und es kommen deshalb mehr Männchenbestimmer zur Befruchtung. Für meine *Melandrien* scheint es mir viel wahrscheinlicher, daß eine verschieden starke Resistenz der männchenbestimmenden und weibchenbestimmenden Pollenkörner gegenüber der rein schädigenden (nicht narkotischen) Wirkung des Alkoholdampfes vorliegt, in dem Sinne, daß im Durchschnitt die Weibchenbestimmer leichter (rascher) absterben, die Männchenbestimmer länger tauglich bleiben. Wir haben dann in der Alkoholkwirkung eine völlige Parallele zu der Wirkung des Alternlassens der Pollenkörner, bei dem sich auch die männchenbestimmenden Pollenkörner im Mittel resistenter zeigen. Daß wir hier nicht auch Zwitter erhalten, wie dort, könnte an der

<sup>5)</sup> Ich nenne der Kürze halber das Zahlenverhältnis der Geschlechter, das man nach völligem Ausschluß der Konkurrenz unter den Keimzellen erhält, das *proximale*, weil es dem mechanischen Verhältnis 1:1 am nächsten liegt, und das Verhältnis, das sich bei möglichst starker Konkurrenz einstellt, das *distale*, weil es sich vom mechanischen am weitesten entfernt.

<sup>6)</sup> d. h. soviel Samenanlagen befruchtet werden, als nötig sind, daß sich der Fruchtknoten zur Frucht weiterentwickelt.

anderen Veranlagung der zu den Versuchen diehenden Pflanzen liegen.

Die aktivere Pollensorte — die schneller keimende, resp. diejenige, deren Schläuche schneller wachsen — ist also für Schädigungen empfindlicher.

Im verflossenen Sommer habe ich neue Versuche mit Pflanzen anderer Herkunft und unter etwas anderen Bedingungen angestellt, über die ich seinerzeit berichten zu können hoffe. Dann wird Gelegenheit sein, auf diese ersten Versuche zurückzukommen.

## Hauptversammlung der Deutschen Bunsengesellschaft.

Die diesjährige Hauptversammlung der Deutschen Bunsengesellschaft für angewandte physikalische Chemie vom 20. bis 22. September in Leipzig trug durch ihre Einordnung in die Jahrhundertfeier der Naturforscherversammlung ein besonderes Gepräge. Dem sprach auch das Thema der Eröffnungssitzung: „Die Beziehungen der physikalischen Chemie zu den anderen Naturwissenschaften“. In seiner mit bewundernswerter Frische und liebenswürdiger Beredsamkeit vorgebrachten einleitenden Ansprache hob *Wilhelm Ostwald* unter Bezugnahme auf seine bekannte Wissenspyramide hervor, wie das Programm dieser Reihe zusammenfassender Vorträge beweise, daß die physikalische Chemie sich außer ihrem eigenen Gebiete sämtliche anorganischen Wissenschaften und die Biologie erobert habe und nun schon mehrfach in die Psychologie übergreife (Farbenlehre, Geschmacksempfindungen); so sei zu hoffen und zu wünschen, daß auch der Gipfel jener Pyramide, die soziologischen Wissenschaften; sich demnächst der physikalischen Chemie als Hilfsmittel bedienen werden.

In seinem eigenen Vortrage gab *Ostwald* einen kurzen, klaren Überblick über seine „messende Farbenlehre“, deren Erfolge er nicht nur in der scharfen Begriffsbestimmung und Reproduzierbarkeit aller denkbaren Körperfarben, sondern auch in der Rationalisierung der Farbenharmonie sieht. Die Brauchbarkeit der von ihm aufgestellten Regeln zur harmonischen Farbenzusammenstellung wurde durch eine Reihe von danach hergestellten farbigen Bildern veranschaulicht, bei denen auch die verschiedenen Schattierungen des Grau, die Stufen der Grauleiter, sowohl unter sich wie neben geeignet gewählten bunten Farben berücksichtigt waren.

*Svante Arrhenius* erstattete einen Bericht über „Physikalisch-chemische Gesetzmäßigkeiten bei den kosmisch-chemischen Vorgängen“. Von seinen Ausführungen, die sich besonders mit *Eddingtons* Schema der Sternklassen beschäftigten — am dem der Vortragende gewisse Änderungen für nötig erachtet —, seien hier nur die Ansichten über die Energiequelle der Sonnenstrahlung gestreift, wie sie sich aus dem Streit der Geologen und der Physiker über das Alter der Sonnenstrahlung entwickelt haben. Gewöhnliche chemische Vorgänge könnten, selbst wenn sie so exotherm wären wie die Verbrennung von Kohle mit Sauerstoff, die Sonnenstrahlung nur 4000 Jahre unterhalten. Wenn die Wärme aus dem dauernden Fall von Meteoren auf die Sonne entstände, so müßte durch das Anwachsen der Sonnenmasse die Länge des Jahres sich merklich verringern. Die von *Helmholtz* und *Lord*

*Kelvin* herangezogene Kontraktion der Sonne würde eine Dauer von 30 Millionen Jahren seit dem Nebelzustand der Sonne erklären, während die Messungen der Mengen von Helium und Blei in den irdischen Mineralien auf ein Alter von 1000 Millionen Jahren hinweisen. Viel weiter kommt man mit der Energie, die bei Verbindung von Elektronen mit Atomresten abgegeben wird, aber auch diese Wärmequelle genügt nur zur Hälfte. Radioaktiv zerfallendes Uran erzeugt zwar viel Wärme, müßte aber in fünffachem Betrage der ganzen Sonnenmasse vorhanden sein. Nur diejenige Energie, die der Massenverringerung beim Zusammentritt von Atomen zu solchen höheren Atomgewichts — z. B.  $4\text{H} \rightarrow \text{He}$  — entspricht, kann als ausreichende Wärmequelle angesehen werden. Reiner Wasserstoff als Urschubstanz würde eine 87 Milliarden Jahre andauernde Sonnenstrahlung der jetzigen Größenordnung erklären und ist als die wahrscheinlichste Grundlage der Sonnenenergie anzusehen. — In der Diskussion wies *Nernst* auf die große Schwierigkeit hin, daß sein Wärmesatz und die Quantentheorie Temperaturen von  $10^{11}$  Grad verlangen, um die Kondensation von Wasserstoff zu Helium und anderen Stoffen zu ermöglichen, während schon  $10^7$  Grad genügen, um die Sterne auseinanderzutreiben; dies habe ihn zu der entgegengesetzten Hypothese der Entstehung der Sterne aus sehr schweren Atomen geführt. Hiergegen hat *Arrhenius* Bedenken, weil die schwersten Atome selbst auf der Erde nur in sehr geringen Bruchteilen vorkommen.

Bleibt so in den räumlich und zeitlich fernen Reichen der Sternenwelt der wissenschaftlich geleiteten Phantasie noch ein weiter Spielraum, so führte uns *Victor Moritz Goldschmidt* (Kristiania) mit seinem Vortrage „Der Stoffwechsel der Erde“ auf den festen Boden unseres Planeten zurück, obwohl es auch hier noch als ein ungeheures Unterfangen erscheinen mag, aus Beobachtungen im kleinen Schmelztiegel des Laboratoriums auf die gewaltigen Vorgänge bei der Abkühlung der Erdkugel vor Jahrmillionen und auf die Zustände in ihren für uns unergründlichen Tiefen sichere Schlüsse zu ziehen. Das, was die Erde von den der Laboratoriumsuntersuchung zugänglichen Systemen unterscheidet, ist im wesentlichen ihr *Schwerefeld*. Dieses übt namentlich auf die bei der Abkühlung entstehenden mehrphasigen Systeme starke Wirkungen aus, deren Folgen in einer Sonderung der Stoffe in Schalen verschiedener Dichte sich zeigen. *Goldschmidt* unterscheidet: die Atmosphäre, die Hydrosphäre, die äußere Silikathülle (von der Dichte 2,8, bis 120 km Tiefe reichend), die innere Silikat- oder Eklogitschale (von der Dichte 3,6—4, bis zu etwa 1200 km Tiefe): sodann eine aus Oxyden und Sulfiden namentlich von Eisen, Chrom und Titan bestehende Schale von der Dichte 5—6, die sich bis 2900 km Tiefe erstrecken mag und vielleicht noch unterteilt ist; darunter der Kern, der hauptsächlich aus Nickeleisen von der Dichte 8 besteht. (Demgegenüber sind in kleinen Himmelskörpern, wie gewissen Meteoriten, den Pallassiten, mangels eines genügenden Schwerefeldes Silikate und Nickeleisen untermischt.) Auch innerhalb der Silikathülle spielen sich noch Wandervorgänge teils rein mechanischer, teils physikochemischer Art ab, und zwar sind 3 Gruppen von Vorgängen zu unterscheiden. Erstens fraktionierte Kristallisation und Reaktionen der Schmelze mit den Bodenkörpern. Auf diesem Gebiete hat die experimentelle Forschung durch Untersuchungen über Silikatmagmen viel geleistet, obwohl die Verhältnisse häufig recht verwickelt liegen. Einfache eutektische Kurven sind selten, häufiger



Mischkristalle, meist aber sogenannte inkongruente Schmelzen, die in kiesel-säurereiche Schmelzen und kiesel-säurearme Bodenkörper zerfallen. Durch Reaktionen zwischen älteren Bodenkörpern und der Restschmelze wird eine große Mannigfaltigkeit im Kristallisationsverlauf herbeigeführt, zumal wenn noch die Schwere ein Absinken der schwereren und Aufsteigen der leichteren Bestandteile, auch gelöster Gase, bewirkt. Auch gasförmige oder in Wasser oder leichten Schmelzen gelöste Metallverbindungen wandern nach oben und erzeugen so die vom Menschen ausgenutzten Erz-lagerstätten. Die in größerer Tiefe, nur unter hohem Druck entstehenden Eklogitsilikate gelangen nur aus-nahmsweise, z. B. bei vulkanischen Ausbrüchen in Ex-plosionskanälen zur Oberfläche. Dem verdankt auch der bei sehr hohem Druck, in mindestens 120 km Tiefe gebildete Diamant sein Auftreten in den oberfläch-lichen Schichten. So befördern also auch Kristallisa-tionsvorgänge im allgemeinen die Sonderung der Stoffe nach der Schwere. Die zweite Gruppe von Vor-gängen, Einwirkung der Atmosphäre und Hydrosphäre, die sich in Verwitterung, Erosion und Sedimentation äußert, sollte, wie man denken könnte, zu einer gleich-mäßigen Stoffmischung führen, aber das Gegenteil ist der Fall. Man kann diesen äußeren Stoffwechsel ge-radezu als eine gigantische quantitative Analyse be-trachten, bei der unter der Einwirkung der Luft, des Wassers und der im Meere gelösten Elektrolyte Kiesel-säure niedergeschlagen wird, dann tonerereiche Ver-bindungen, namentlich Feldspate, die aber vielfach weiter zu Tonerde und Kaolin zersetzt und jedenfalls in hochdisperser, toniger Beschaffenheit abgelagert werden. Calcium, Magnesium und die Alkalien werden gelöst, Calcium teilweise von Organismen aufgenommen und wieder abgelagert, Kalium zum Glück für die Pflanzenwelt an den Tonen adsorbiert, die übrigen Stoffe in den Salzlagern abgesetzt. Die für das Le-ben unentbehrliche Phosphorsäure, die in der unver-änderten Silikathülle (den Eruptivgesteinen) zu 0,3 % vorhanden ist, sollte man in den Sedimenten wieder-finden; sie ist aber dort unter Zurechnung der mini-malen Mengen im Meerwasser und in den lebenden Wesen nur in kleinerem Betrage nachgewiesen; es wäre denkbar, daß in den stagnierenden Wässern der großen Ozeane mehr Phosphorsäure vorhanden ist, die durch Absinken toter Organismen dorthin gelangt sein kann. Als dritte Gruppe von Stoffwechselvorgängen kann man die Wirkungen geologischer Umschichtun-gen, die sich namentlich in Gasentwicklung und in Gesteinsumbildungen äußern, zusammenfassen. Die Produkte des äußeren Stoffwechsels sind niederen Tem-peraturen angepaßt; werden sie durch geologische Vor-gänge in größere Tiefe versenkt, so werden sie unbe-ständig. Die dadurch im Wechselspiel von Tempera-tur und Druck hervorgerufene Gesteinsmetamorphose gehorcht der Phasenregel und den übrigen thermodyna-mischen Gesetzen. Zum Teil kann sich dabei die Zu-sammensetzung der Phasen völlig ändern („Metasoma-tose“), was häufig zur Anreicherung seltener und wertvoller Stoffe führt. — So gewinnen wir im ganzen ein Bild weitgehender Stoffsonderung, der erst die fort-schreitende Abkühlung ein vorläufiges Ende bereitet. Als praktische Folgerung ergibt sich aber, daß nach der voranzusehenden Erschöpfung der verhältnismäßig geringfügigen oberflächlichen Erz-lagerstätten das Zeit-alter der Schwermetalle wegen der unzugänglichen Tiefe, in der sich deren Hauptmenge befindet, sich dem Ende zuneigt: Aufgabe der kommenden Geschlechter ist es, die Schlacke auszunutzen.

Den letzten Vortrag dieser Reihe bildete (da J. Loeb (New York), der über „Physikochemische Ge-setzmäßigkeiten bei biologischen Vorgängen“ sprechen sollte, leider verhindert war) der Bericht von Nernst „Über die bisherigen Anwendungen der Quantenlehre auf photochemische Prozesse“. Bei der Absorption des Lichtes wird stets von, jeder absorbierenden Molekel ein der Schwingungszahl  $\nu$  des Lichtes proportionales Energiequantum  $h\nu$  aufgenommen, wobei der Proportionalitätsfaktor  $h$  die universelle Plancksche Kon-stante bedeutet. Die Energie wird so aufgespeichert, daß die Elektronen von inneren nach äußeren Bahnen geworfen werden und aktivierte Modifikationen der Elemente und Verbindungen entstehen, und zwar je nach der Wellenlänge des Lichtes verschiedene aktive Modifikationen. In den meisten Fällen zersplittert sich die aufgenommene Energie durch Abgabe in kleinen Stufen als Wärme; unter Umständen kann sie sich auch in einem größeren Sprunge durch Rückkehr der Elektronen in innere Bahnen entladen, wobei wie-der Strahlung, aber von kleinerer Schwingungszahl ge-wonnen wird: Fluorescenz. Ist aber ein geeigneter Acceptor zugegen, so können die aktiven Molekeln mit diesem chemisch reagieren, und wir erhalten einen photochemischen Vorgang. Dieser wird von Einsteins photochemischem Äquivalentgesetz beherrscht, wonach die auf eine Molekel bezogene Wärmetönung der photo-chemischen Reaktion dem Energiequantum  $h\nu$  ent-spricht. Dabei ist aber zweierlei zu beachten. Die ak-tiven Molekeln können je nach dem  $\nu$  des absorbierten Lichtes verschieden sein und daher auch verschieden reagieren, was allerdings in der Regel nicht der Fall ist. Sodann gilt, was namentlich E. Warburg aufgeklärt hat, das Äquivalent-gesetz nur für den eigentlichen, primären photo-chemischen Vorgang, an den sich meist noch von selbst verlaufende Dunkelreaktionen anschließen; diese bedingen die scheinbaren Abweichungen. Auch kann die Energie der aktiven Molekeln auf Molekeln an-derer anwesender, sonst indifferenten Stoffe übertragen werden, wodurch diese „sensibilisiert“ werden und nun mit den Acceptoren reagieren. An einer tabellarischen Zusammenstellung der bisher geprüften Fälle in Gasen und Flüssigkeiten zeigte der Vortragende die Gültig-keit des Gesetzes und die scheinbaren Abweichungen. Diese sind ohne weiteres zu erklären, wenn weniger Energie gewonnen wird, als dem absorbierten Lichte entspricht; in den entgegengesetzten Fällen sind häu-fig Kettenreaktionen die Ursache für eine verviel-fachte Wirkung, z. T. sind sie aber in ihrem Mecha-nismus noch nicht völlig aufgeklärt. Bei der neuer-dings von mehreren Seiten in diesem Sinne geprüften Lichtreaktion des Bromsilbers ergibt sich nebenbei eine praktische Folgerung: die Empfindlichkeit der photographischen Platte sollte sich auf ein Vielfaches steigern lassen, weil die besten Platten nur  $\frac{1}{20}$  des Lichtes absorbieren und weil ferner nur die auf der Oberfläche der verhältnismäßig großen Bromsilber-körner sitzenden Silberatome (d. i. nur  $\frac{1}{300}$  von allen) nach ihrer Aktivierung bei der nachfolgenden Ent-wicklung und Fixierung zur Schwärzung der Platte beitragen.

Mit photochemischen Fragen beschäftigten sich auch einige der Einzelvorträge, über die bei ihrer großen Zahl — es wurden mehr als 30 gehalten — hier nur in einer naturgemäß willkürlichen Auswahl berichtet werden kann. Fajans (München) sieht die primäre Wirkung des Lichtes auf das Bromsilber darin, daß in dessen Ionengitter das Elektron eines Bromions zu



einem Silberion wandert und dieses entlädt. Dieser Vorgang muß an der Oberfläche der Bromsilberteilen leichter verlaufen als in deren Innerem, weil hier die allseitig das Silberion umgebenden Bromionen abstoßend auf das Elektron wirken; noch leichter muß die Entladung vor sich gehen, wenn die Bromsilberteilen an ihrer Oberfläche Silberionen adsorbiert haben, wie es nachweislich der Fall ist, wenn das Bromsilber bei Gegenwart überschüssigen Silbernitrats gefällt ist. Der geringere Energiebedarf äußert sich in der Beanspruchung eines kleineren Quantums  $h\nu$ , d. h. in der Empfindlichkeit gegen röteres Licht von einer Schwingungszahl, die zu einer direkten Zersetzung von AgBr in Ag und Br bei weitem nicht ausreichen würde. Die Verfärbung unter Rotfiltern hört aber nach kurzer Zeit wieder auf, erklärlicherweise, weil dann die Oberfläche der Teilchen wieder normal ist.

Einen anderen, ebenfalls schon sehr eingehend untersuchten, aber immer noch Rätsel darbietenden photochemischen Vorgang behandelte Weigert (Leipzig), die *Bildung von Chlorwasserstoffgas aus den Elementen im Licht*. Wird diese Reaktion durch Absorption des gebildeten HCl mittels Wasser und Messung der Volumenabnahme des Gasgemisches verfolgt, so beobachtet man den sogenannten *Draper-Effekt*, indem der Kontraktion im ersten Augenblick eine Expansion vorausgeht, eine Erscheinung, deren Deutung noch zweifelhaft war. Zur genaueren Beobachtung wandte der Vortragende die Schlierenmethode an, unter photographischer Festhaltung des Bildes. In mühsamen Versuchen stellte er fest, daß die Schlieren des Draper-Effektes erst  $\frac{1}{40}$  Sekunde nach der Belichtung auftreten und rasch wieder verschwinden. Das schließt eine Reihe von Erklärungsmöglichkeiten aus, während die aus anderen Gründen gemachte Annahme einer durch die photochemisch aktivierten Chlormolekeln eingeleiteten Kettenreaktion mit der beobachteten Nachwirkung, als Folge der Reaktionswärme, gut vereinbar ist.

Die für derartige Probleme wichtige *Lichtabsorption des Chlors* hat von Halban (Würzburg) mit großer Genauigkeit gemessen, nach einem mit *Siedentopf* ausgearbeiteten, sehr empfindlichen Verfahren, bei dem das auffallende und das durchgelassene Licht durch ihre Wirkung auf zwei gegeneinander geschaltete photoelektrische Zellen mittels Kompensation verglichen werden. Die mit zwei verschiedenen Chlorarten — und zwar unabhängig vom Feuchtigkeitsgehalt — erhaltene Absorptionskurve zeigt außer der starken Absorption im Ultraviolett noch eine solche im Rot; mit den bisher angenommenen Werten für die Dissoziationswärme der Chlormolekeln steht sie nicht im Einklang, so daß diese der Nachprüfung bedürfen.

Der für den Menschen wichtigste photochemische Vorgang bleibt aber die *Assimilation der Kohlensäure* durch die grünen Pflanzen. In Fortsetzung seiner Untersuchungen über diese Reaktion hat Otto Warburg (Berlin-Dahlem) ihre Ausbeute zu bestimmen versucht, d. h. denjenigen Anteil der absorbierten Strahlung, der nicht als Wärme oder Fluoreszenzstrahlung wieder abgegeben, sondern tatsächlich zur chemischen Reaktion, zum Aufbau von Kohlehydraten oder deren Vorstufen verwendet wird. Dieser Bruchteil ist um so kleiner, je intensiver die Strahlung, aber durch Verfolgung dieser Abhängigkeit läßt sich ein Grenzwert für geringste Strahlungsintensität berechnen. Die Ausbeute ist je nach dem benutzten Zellenmaterial sehr verschieden, am besten, wenn die Zellen bei schwachem Lichte gezüchtet sind, was als Anpassung gedeutet

werden kann; das gleiche gilt von der Beobachtung, daß bei Bestrahlung mit Licht verschiedener Wellenlänge die Ausbeute am höchsten im Gelb ist, dem Maximum des natürlichen Sonnenlichtes. Ausgedehnte Versuchsreihen mit etwa 2000 Messungen an einer Grünalge in gelbem bis gelbrotem Lichte gaben zunächst eine Ausbeute von nur 20 %, die sich aber durch Umzüchtung der Zellen auf den bemerkenswert hohen Betrag von 60 bis 85, im Mittel 70 % steigern ließ. Die Assimilation findet nur an dem festen, chlorophylltragenden Zellgerüst in der Kohlensäure-Adsorptionsschicht statt. Gut assimilierende Zellen müssen eine möglichst dünne Farbstoffschicht und eine möglichst von anderen Stoffen reine Oberfläche haben, weil fremde adsorbierbare Stoffe die Ausbeute erheblich verkleinern.

Unter den *elektrochemischen* Vorträgen war derjenige von Coehn (Göttingen) von wunderhübschen Demonstrationen begleitet, die das verschiedene Verhalten und die verschiedene Größe der *elektrolytisch entwickelten Gasbläschen* zeigten. Die in Alkalilauge an der Kathode sich bildenden Wasserstoffbläschen sind sehr fein und steigen regelmäßig in die Höhe, während sie in Schwefelsäure viel größer werden und lange an der Elektrode haften bleiben. Für anodisch entwickelten Sauerstoff gilt genau das Umgekehrte. Als Ursache erkannte der Vortragende die elektrostatische Aufladung der Gasblasen, die er durch Aufprallenlassen auf eine mit dem Elektrometer verbundene Metallplatte nach Vorzeichen und Größe messen konnte. So laden sich Wasserstoffbläschen in reinem Wasser stark negativ, in Lauge bis zu mäßiger Konzentration ebenfalls negativ, in Säure dagegen schon bei verhältnismäßig geringer Konzentration positiv. Von einer gleichnamig geladenen Elektrode werden die Bläschen natürlich abgestoßen, während sie an einer entgegengesetzt geladenen größer werden (und zwar nach mikroskopischen Messungen um so größer, je stärker die Ladung ist) und haften bleiben. Die abstoßende Wirkung kann durch geeignete Versuchsanordnung — sehr kleine Elektrode in Form einer eingeschmolzenen Platinspitze — deutlich sichtbar gemacht werden. Daß nach Stromunterbrechung die an der Elektrode haftenden Gasbläschen — Wasserstoff in Säure, Sauerstoff in Lauge — sich verschieden verhalten, nämlich jene noch lange haften bleiben, diese sich ablösen, ist eine Folge der eigentümlichen Konzentrationsfunktion der Ladung, weil die durch den Strom in unmittelbarer Nähe der Elektroden hervorgerufenen Konzentrationsänderungen sich nachher durch Diffusion wieder ausgleichen und die Ladung der Blasen verändern.

Mit der *kathodischen Wasserstoffentwicklung* beschäftigte sich auch der Vortrag von Bodenstein (Hannover), und zwar mit der Diffusion des elektrolytisch entstandenen Gases durch das Metall (Eisen oder Platin) der zu diesem Zwecke hohl ausgestalteten Kathode, und mit dem Zusammenhang zwischen Diffusionsgeschwindigkeit und Überspannung. Während dieser Zusammenhang noch nicht vollständig aufgeklärt ist, bestätigen die Messungen jedenfalls, daß nur atomarer Wasserstoff durch das Metall diffundiert. Alle Versuche aber, in dem aus dem inneren Kathodenraum abgepumpten Gase durch chemische Reaktion atomaren Wasserstoff nachzuweisen, schlugen fehl, so daß man annehmen muß, daß die Wasserstoffatome als solche nicht aus dem Metall austreten können, sondern sofort zu Molekeln zusammentreten.

Daß nach der in den letzten Jahrzehnten gelun-



genen weitgehenden Aufklärung der elektrochemischen Erscheinungen an der Grenze zwischen Metallen und Lösungen eine andere Art *elektrischer Grenzkkräfte*, diejenigen zwischen verschiedenen Flüssigkeiten und zwischen nichtmetallischen festen Körpern und Flüssigkeiten mehr und mehr bearbeitet werden, zeigten die Vorträge von *Baur* (Zürich), *Beutner* (Leiden) und *Michaelis* (Berlin). Solchen „Phasengrenzkkräften“ kommt für die Erklärung der elektrischen Ströme in den Lebewesen große Bedeutung zu.

In das Gebiet der präparativen Elektrochemie fielen die Vorträge von *Paneth* (Berlin), dem eine elegante elektrochemische Darstellung von *Zinnwasserstoff* gelungen ist, und derjenige des italienischen Gastes *Piutti*. Dieser hat die von *Baly* behauptete *Bildung von Helium und Neon aus Wasserstoff* in Geißlerschen Röhren nachgeprüft. Trotz Anwendung der verschiedensten Arten der elektrischen Entladung, die tage- und wochenlang ununterbrochen fortgesetzt wurden, konnte in keinem der 70 Versuche ein Auftreten von He oder Ne beobachtet werden. In der Diskussion erklärte *Nernst* eine solche Synthese an sich nicht für undenkbar; aber nach der Quantentheorie lasse sich berechnen, daß das entweder äußerst kurzweiliges Licht, wie wir es nicht zur Verfügung haben, oder Spannungen von 2 Millionen Volt erforderlich wären.

Der *Natur der Säuren* galten die inhaltreichen Ausführungen von *Hantzsch* (Leipzig), der seine Beobachtungen und Auffassungen über die beiden Formen der Säuren, echte Säuren (den Salzen entsprechend) und Pseudosäuren (den Estern entsprechend) weiter ausgebaut hat. Als Mittel zur Unterscheidung dieser Formen hat er außer den optischen Messungen noch die Färbung der Indikatoren und die katalytischen Wirkungen (Zuckerinversion und Zersetzung von Diazoessigestern) herangezogen, und zwar nicht nur für wässrige Säurelösungen, sondern auch für solche in anderen Lösungsmitteln und für die reinen Säuren in festem oder flüssigem Zustande. Aus seinen ausgedehnten Untersuchungen zieht *Hantzsch* den Schluß, daß für konzentrierte Lösungen, für nichtwässrige Lösungen und für die homogenen Säuren die Ionentheorie ersetzt werden müsse durch die Theorie der *ionogenen Bindung*. Säuren sind Verbindungen mit ionogenem Wasserstoff, die wahre Stärke einer Säure kann nur durch die Intensität der Salzbildung bestimmt werden. Mit der Zahl der Sauerstoffatome in der Molekel, die den ionogenen Wasserstoff binden, steigt der saure Charakter.  $\text{ClO}_3\text{H}$  kommt nur als echte Säure vor, ähnlich die Sulfosäuren  $\text{R} \cdot \text{SO}_3\text{H}$ . Bei  $\text{NO}_3\text{H}$  ist der Gehalt an echter Säure je nach der Konzentration verschieden, in homogenem Zustande ist sie nur Pseudosäure. Auch für Säuren mit 2 O ist das Verhältnis zwischen echter und Pseudosäure von der Konzentration und vom Lösungsmittel abhängig, während  $\text{ClOH}$  überhaupt nicht zu den Säuren zu rechnen ist. Die Halogenwasserstoffsäuren schließlich erlangen erst durch die Verbindung mit Wasser (oder mit Alkohol oder Äther) saure Natur; ihre wässrigen Lösungen sind als Hydroxoniumsalze z. B.  $\text{Cl}(\text{H}_3\text{O})$  aufzufassen.  $\text{H}^+$ -Ion als solches existiert in wässriger Lösung nicht, sondern nur seine Verbindung mit Wasser, das Hydroxonium-Ion.

Der Name „Säure“ ist ja von unserer Geschmacksempfindung hergenommen. Daß aber der *saure Geschmack* mit den sonstigen Eigenschaften der Säuren in einem recht verwickelten Zusammenhang steht, zeigen die Untersuchungen von *Paul* (München). Die

ursprünglich angenommene Parallelität zwischen saurem Geschmack und Wasserstoffionenkonzentration gilt nur in sehr beschränktem Umfange. Schwache Säuren (z. B. Weinstein, Essigsäure, Kohlensäure) schmecken unverhältnismäßig viel saurer, als ihrer Ionisation, z. B. beim Vergleich mit Salzsäure, entspricht. Nach der schon bei den Untersuchungen über den Geschmack der Süßstoffe<sup>1)</sup> benutzten psychologischen Methode hat *Paul* diese Verhältnisse in umfangreichen Kostversuchen mit verschiedenen Säuren, Säuremischungen und Pufferlösungen studiert und gewisse Gesetzmäßigkeiten gefunden, die aber noch der theoretischen Deutung harren, zumal wir nicht wissen, ob die saure Geschmacksempfindung durch eine katalytische oder „konsumptive“ Wirkung der Säure auf die Zunge hervorgerufen wird. In der Diskussion wies *Michaelis* darauf hin, daß für die Erklärung u. a. der Einfluß der in den Geschmacksbechern der Zunge enthaltenen Pufferlösung auf die Säuren sowie auch die verschiedene Geschwindigkeit des Eindringens der Säure in Betracht gezogen werden sollten.

Mit der *Konstitution von Salzlösungen* hat sich in Fortsetzung früherer Untersuchungen *Drucker* (Leipzig) beschäftigt. Durch eine sinnreiche Verknüpfung verschiedener Messungsreihen — Gefrierpunkt, Leitfähigkeit, Überführungszahl — hat er versucht, in  $\text{TiNO}_3$ -Lösungen die Konzentrationen und Gleichgewichte der verschiedenen Ionen- und Molekelarten zu berechnen und im Sinne der klassischen Dissoziationstheorie zu deuten.

*Riesenfeld* (Berlin) berichtete über neue Versuche mit *Ozon*, das er bekanntlich vor kurzem als erster in reinem, 100prozentigem Zustande in gasiger, flüssiger und fester Form dargestellt und dessen physikalische Eigenschaften er nun gemessen hat, unter anderem den Schmelzpunkt ( $-249,7^\circ$ ), den Siedepunkt ( $-112,4^\circ$ ) und die kritische Temperatur ( $-5^\circ$ ).

Methodisch wichtig waren die Vorträge von *Cohen* und *Hahn*. *Cohen* (Utrecht) beschrieb an der Hand von Apparatmodellen ein verfeinertes Verfahren zur *Bestimmung von Diffusionskoeffizienten* in Lösungen, dessen wesentliche Grundlagen völlige Vibrationsfreiheit des Apparates (durch besondere Vorrichtungen erreicht und an einem mit dem Apparate fest verbundenen Quecksilberspiegel geprüft), ferner glatte Trennung der einzelnen Schichten der Diffusionszylinder (nach einer von *Hofmeister* angegebenen eleganten Methode), endlich genaue Konzentrationsmessung (auf interferometrischem Wege) sind. So gelang es, die Diffusionskoeffizienten mit einer Genauigkeit von 0,2 bis 0,3 % zu ermitteln. Dabei ergab sich, daß das Gesetz von *Stokes* und *Einstein* in dem Temperaturbereich zwischen  $0^\circ$  und  $50^\circ$  nicht erfüllt ist; wie *Nernst* in der Diskussion hervorhob, ist dies auch nicht zu erwarten, weil die Voraussetzungen jenes Gesetzes bei der Diffusion einzelner Atome, Ionen oder Molekeln nicht vorliegen.

*Otto Hahn* (Berlin) hat auf etwas anderem Wege als früher *Paneth*<sup>2)</sup> Radioaktivitätsmessungen zur Ermittlung der relativen *Oberfläche von Niederschlägen* benutzt. Dabei wird der Niederschlag bei der Fällung oder nachher durch Adsorption mit einer kleinen Menge Radiothor oder einer anderen, Emanation aussendenden radioaktiven Substanz vermischt; das Emanationsvermögen ist dann der Oberfläche des Niederschlages proportional. So konnten auch die Oberflächen-

<sup>1)</sup> Vgl. Naturw. 1922, S. 710.

<sup>2)</sup> Vgl. Naturw. 1921, S. 903.

änderungen gewisser Niederschläge durch zeitliche Verfolgung der Emanationsgeschwindigkeit gemessen werden.

Nach der Entdeckung *Astons*, daß viele Elemente Gemische mehrerer Isotopen seien, wurde von manchen Seiten die Ansicht geäußert, dann habe es ja keinen Sinn mehr, große Genauigkeit bei *Atomgewichtsbestimmungen* anzustreben. Andererseits wurde — und sicher mit Recht — die entgegengesetzte Auffassung vertreten, daß gerade für die Bestätigung der Anwesenheit von Isotopen, für die Prüfung der Gleichmäßigkeit der Mischungen, für die Kontrolle von Trennungsvorversuchen der Isotopengemische, wie auch für die Begründung von Fragen der Kernstruktur die Genauigkeit der Atomgewichte möglichst noch gesteigert werden müsse. Neue Erfolge in dieser Richtung hat *Hönigschmid* (München) aufzuweisen, der über Bestimmungen der Atomgewichte von *Tl*, *Fe*, *B*, *Hg* und *Pb* vortrug. Bei Quecksilber konnte gezeigt werden, daß die beiden von *Hevesy* getrennten Fraktionen in der Tat ein eben noch merklich verschiedenes Atomgewicht aufweisen, nämlich 200,57 und 200,63, während das natürliche Isotopengemisch 200,61 ergab. Das untersuchte Blei stammte aus einem ungewöhnlich blei-reichen Uranerz aus Belgisch-Kongo und gab ein Atomgewicht von 206,046, entsprechend reinem Uranblei; seine Entstehung aus Uran läßt auf ein Alter des Minerals von 2 bis 3 Milliarden Jahren schließen!

Einen Blick in die Zukunft zeigte uns *Grimm* (München). Wenn unsere heutigen Auffassungen über die Struktur der Atome richtig sind, so müssen sich alle chemischen Eigenschaften der Stoffe, da ihre letzten Bausteine, Wasserstoffkerne und Elektronen wesensgleich sind, letzten Endes auf deren verschiedene Anordnung und Bewegung zurückführen lassen. Im Anschluß an *Kossel* hat der Vortragende einen Vorstoß in dieses Gebiet versucht, um zunächst die analytischen Merkmale der Ionen, wie sie empirisch zu der bekannten Gruppeneinteilung geführt haben, durch die Ladung, den Radius und den Bau der Ionen zu erklären. Seine anregenden Ausführungen entziehen sich einer kurzen Berichterstattung.

Auch die hier nicht erwähnten Vorträge boten noch viel Anregung und Belehrung. Zum Schlusse möge aber nur noch berichtet werden, daß die Bunsengesellschaft vor ihrer eigentlichen Tagung an der in Sektion „Chemie“ gehaltenen Reihe zusammenfassender Vorträge über *Enzyme* von *Willstätter* (München), von *Euler* (Stockholm), *Wieland* (Freiburg) und *Neuberg* (Berlin-Dahlem) teilnahm. Besonders interessant waren die Mitteilungen von *Willstätter* über seine Erfolge bei der Reindarstellung von Enzymlösungen (*Invertin*, *Pankreaslipase*, pflanzliche *Lipase*, *Peroxydase*) auf ganz neuen Wegen, durch auswählende Adsorption an sauren und alkalischen Trägern — *Kaolin* und *Tonerde* — mit nachfolgender Elution durch gewisse Salzlösungen. Es ist zu hoffen, daß diese wichtigen Forschungsergebnisse recht bald auch in diesen Spalten einem größeren Leserkreise veranschaulicht werden.

Fr. Au.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen. Über den physiologischen Eindruck des Glanzes.

In Heft 36 dieser Zeitschrift findet sich eine eigenartige Beobachtung von *Bergfried Eßlen* mit einem nicht restlos befriedigenden erklärenden Zusatz von *v. Hornbostel* über die Entstehung des physiologischen

Eindrucks des Glanzes. Ich als Anatom bin zwar physiologischer Laie und möchte daher für mich das Recht, die Literatur, die ich nicht kenne, unbeachtet zu lassen, in Anspruch nehmen, glaube aber doch das Wesen des Glanzes durch eigene Beobachtungen und Überlegungen soweit erkannt zu haben, um eine befriedigende Erklärung für die vorliegende Erscheinung geben zu können.

Der Eindruck des Glanzes wird durch in bestimmter Richtung reflektiertes, d. h. annähernd paralleles Licht hervorgebracht. Ist die glänzende Fläche eben und begrenzt, so wird der Glanz also auch nur in dieser Richtung wahrgenommen werden können, und es kann sein, daß wir bei binokularem Sehen diese Fläche mit einem Auge hell, mit dem anderen dunkel sehen. Ist die Fläche aber gekrümmt und reflektiert parallel auffallendes Licht, so wird jede Flächeneinheit ihr Licht nach einer anderen Richtung hin reflektieren. Wir werden also mit dem einen Auge eine etwas andere Stelle der im ganzen lichtschwachen Fläche erhellt sehen, als mit dem anderen, und zwar bei konvexer Fläche mit dem linken Auge eine etwas mehr links gelegene, bei konkaver eine etwas mehr rechts gelegene. Das ergibt, wenn diese Stellen, was durchaus nicht immer der Fall zu sein braucht, annähernd kongruente Flächen darstellen, einen stereoskopischen Effekt, und zwar erscheint uns dieselbe Stelle bei konvexen Körpern hinter das Objekt, bei konkaven vor das Objekt gerückt.

Das Wesentliche der Glanzempfindung scheint mir zu sein, daß wir beim Betrachten eines Körpers eine Stelle desselben, die kontrastiert (also wohl auch dunkel auf hell), nicht in der Oberfläche des Körpers selbst zu lokalisieren vermögen. Das trifft immer zu, wenn seine Netzhautbilder in beiden Augen in Form oder Lage nicht übereinstimmen. Deswegen läßt sich der Eindruck des Glanzes auch in der Malerei nicht voll wiedergeben, da hier beide Netzhautbilder identisch sind (mit Ausnahme vielleicht der Schule, die ganze Berge von Farbe aus der Tube quetscht und damit auch verschiedene Netzhautbilder hervorrufen kann, z. B. *Slevogtskizzen*). Wir erhöhen also nicht nur die subjektive Perspektive, sondern auch die Glanzempfindung, wenn wir Gemälde monokular betrachten und durch Vorhalten einer Lochblende seitliche Verschiebung des Auges verhindern; denn wir eliminieren damit die Kontrolle des zweiten Auges, die uns sonst sagen würde: „Es ist keine wahre Tiefe, kein wahrer Glanz.“

Monokular wird der Glanzeindruck ebenfalls durch die unsichere Tiefenlokalisierung der kontrastierenden Stelle der Oberfläche hervorgerufen. Bei hellem Licht ist die Ursache hierfür der im Auge entstehende Strahlenkranz.

Bei der Beobachtung des Herrn *Bergfried Eßlen*, die ich nicht nochmals wiedergeben möchte, handelt es sich aber ganz offenbar um verschiedene Netzhautbilder bei binokularem Sehen, ähnlich, wie man *Pseudoglanz* auf jeder Stereoaufnahme erzeugen kann, wenn man ein etwas verschiedenes Licht beiderseits oder nur ein Licht auf einem Bilde einreicht. Der Kontrast ist gegeben: grüne Fläche, rotes Detail. Man wird natürlich nur in der Richtung längs der Drillreihen den roten Boden sehen. Seitwärts blenden die grünen Saatreihen den Boden ab, aber nicht für beide Seiten gleichmäßig. Man sieht also mit dem linken Auge links etwas mehr Boden, rechts etwas weniger, als mit dem rechten Auge. Bei stehendem Zuge braucht das nicht zu einer Pseudowirkung zu führen, da man dann die



einzelnen Drillreihen scharf als solche erkennen, die richtigen Netzhautbilder zur Deckung bringen und dann die Differenz der Bilder als richtigen Tiefeneffekt physiologisch empfinden kann. Ich kann mir aber sehr wohl denken, daß auch bei stehendem Zuge ein kleiner Kunstgriff zur Erzeugung des Pseudoglanzes führen könnte. Wenn man von allen markanten Geländepunkten abstrahierte und durch falsche Konvergenz oder Divergenz der Augen nicht die zugehörigen Bilder der Drillreihen, sondern die Bilder der benachbarten Drillreihen zur Deckung brächte, so würde das Feld entweder weiter vom Beobachter abzurücken oder näher an ihn heranzurücken scheinen. Die einzelnen Bodenbilder stimmen nun nicht mehr, sie können nicht mehr ein psychisches Gesamtbild mit der gleichen Tiefenlage wie das grüne Feld ergeben, und die Bedingungen für die Glanzempfindung wären gegeben.

Beim fahrenden Zuge dürften die Bedingungen für eine Glanzempfindung außerdem noch leichter dadurch zustande kommen, daß man überhaupt nicht mehr die Möglichkeit hat, jede Drillreihe scharf zu perzipieren. Man sieht nur die grüne Fläche, die in gewohnter Weise richtig lokalisiert wird. Die Längsstreifung des roten Bodenstreifens wird auch nicht mehr wahrgenommen, sondern nur ein einheitlicher, roter kontrastierender Streifen. Daher müssen jetzt die verschiedenen Netzhautbilder dieses einheitlichen roten Streifens, die im linken Auge mehr links, im rechten mehr rechts liegen, eine falsche (größere) Tiefe des Objektes empfinden lassen. Der rote Eindruck scheint uns weit hinter dem grünen Felde herzukommen, es sind also dieselben Bedingungen gegeben, die uns einen Glanz an einem konvexen zylindrischen Körper empfinden lassen. Daß der Eindruck erhöht werden kann dadurch, daß der Boden zwischen den Drillreihen von der Sonne nur teilweise beleuchtet ist und dadurch, daß bei der Zugbewegung ein Kinoflimmern entsteht, ist verständlich.

Breslau, den 23. Oktober 1922. Ludwig Gräper.

### Zu Rubens und Hertz Note „Über den Einfluß der Temperatur auf die Absorption langwelliger Wärmestrahlen in einigen festen Isolatoren“.

Zu den bemerkenswertesten und für die Theorie interessantesten Arbeiten von H. Rubens scheint mir die gemeinsam mit G. Hertz veröffentlichte Note „Über den Einfluß der Temperatur auf die Absorption langwelliger Wärmestrahlen in einigen festen Isolatoren“ (Sitzungsberichte d. Berl. Akad. d. Wiss. XIV, 1912, 256) zu gehören. Vielleicht hat diese Arbeit nicht das Interesse erregt, das sie verdiente, weil das Ergebnis in einer für den Theoretiker etwas unanschaulichen Form ausgesprochen ist. Es sei mir deshalb ein kurzer Hinweis auf den Inhalt der Arbeit in abweichender Darstellung erlaubt, obwohl ich nicht in der Lage bin, eine befriedigende Erklärung des Untersuchungsbefundes zu geben.

Untersucht wird die Durchlässigkeit von Steinsalz, Sylvin, Flußspat und Quarz für ultrarote Strahlen bei Temperaturen zwischen der der flüssigen Luft und  $+300^{\circ}\text{C}$ . Die zur Absorption gelangenden Strahlen sind die Reststrahlen von Flußspat ( $23\mu$ ) und Steinsalz ( $52\mu$ ) sowie die mit der Quarzlinsenmethode isolierte langwellige Strahlung von etwa  $300\mu$  Wellenlänge. Daneben auch Wellen von 7, 12 und  $16,5\mu$ . Je nach der Strahlenart muß man, um nicht unbequem große oder geringe Absorption zu erhalten, verschieden dicke Kristallplatten benutzen. Fig. 1 gibt

eine typische Kurve, wie sie Rubens und Hertz zur Niederlegung der Versuchsergebnisse dient. „Als Abszissen sind die Temperaturen in Celsiusgraden, als Ordinaten die Absorptionen in Prozenten der ein-

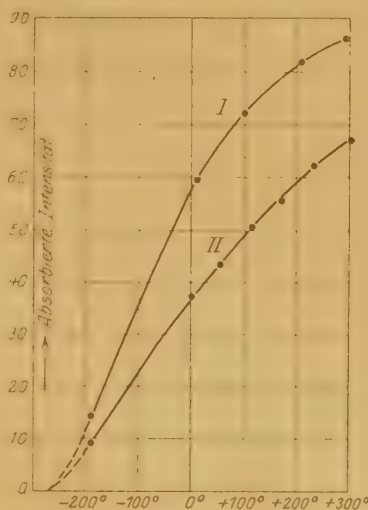


Fig. 1.

I: Sylvin,  $d = 4,49\text{ mm}$ ,  $\lambda = 23\mu$

II: „  $d = 0,86\text{ mm}$ ,  $\lambda = 300\mu$

dringenden Strahlung“ (= auffallender Strahlung nach Korrektur wegen der Oberflächenreflexion) aufgetragen.  $d$  bedeutet die Dicke der Kristallplatte,  $\lambda$  die zur Absorption gelangende Wellenlänge.

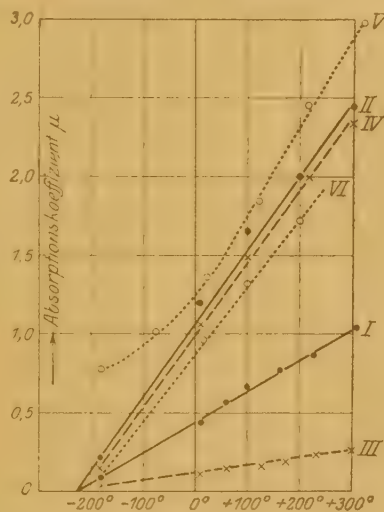


Fig. 2.

I } —•— Steinsalz;  $\lambda = \begin{cases} 23\mu \\ 300\mu \end{cases}$   
 II }  
 III } - - x - - Sylvin;  $\lambda = \begin{cases} 23\mu \\ 300\mu \end{cases}$   
 IV }  
 V } ..... Fluorit;  $\lambda = \begin{cases} 12\mu \\ 300\mu \end{cases}$   
 VI }

Aus den sorgfältigen Angaben der Autoren habe ich nun den Absorptionskoeffizienten  $\mu$  entnommen, der dadurch definiert ist, daß die zur Tiefe  $d$  vordringende Strahlungsintensität proportional  $e^{-\mu d}$  geschwächt ist. Fig. 2 zeigt den Verlauf bei Steinsalz, Sylvin und Flußspat für je zwei Wellenlängen, und zwar eine unterhalb und eine oberhalb der Reststrahlenwellenlänge des absorbierenden Stoffes gelegene. Es ergibt sich aus dieser Darstellung, daß  $\mu$  linear mit

der Temperatur wächst. Dies Gesetz gilt nur für Kristalle; die Absorption in Glas und Quarzglas ändert sich nur wenig und in wenig charakteristischer Weise mit der Temperatur.

Der Ausgangspunkt der 5 geradlinigen Kurven in Fig. 2 scheint nicht der Nullpunkt der absoluten Temperatur zu sein, sondern ein je nach dem Kristall bei 30 bis 60° abs. gelegener Punkt. Dies bedeutet, daß Kristalle bereits vor Erreichung des absoluten Nullpunktes völlig „durchsichtig“ werden. Allerdings muß auf offenkundige Abweichungen von dem linearen Verlauf hingewiesen werden, wofür die Kurve V ein typisches Beispiel gibt: Hier fügt sich  $\mu$  zwar bei höheren Temperaturen den genannten Gesetzmäßigkeiten. Aber bei niedrigen Temperaturen bleibt eine Grundabsorption übrig. Die Wellenlänge, auf die sich V bezieht, ist kleiner als die Reststrahlwellenlängen von Fluorit. Ähnliche Abweichungen wurden bei Quarz für solche Wellenlängen beobachtet, die kleiner als die Gruppe von Restwellenlängen von Quarz oder zwischen diesen gelegen sind. Hingegen werden die beiden Wellenlängen 52 und 110  $\mu$ , die länger als die Quarzwellen sind, nach den oben ausgesprochenen linearen Gesetzmäßigkeiten absorbiert.

Zur Wertung dieser Ergebnisse sei folgendes gesagt: Eine ultrarote Welle ist ein elektrisches Wechselfeld von bestimmter Frequenz. Innerhalb der atomaren Bereiche des Kristalls kann es als homogen betrachtet werden. Die positiven und negativen Ionen des Kristalls werden durch das Feld nach verschiedenen Seiten gezogen und führen *erzwungene Schwingungen* aus. Es gibt auch „*Eigenschwingungen*“ des Kristalls, bei denen die Ionen verschiedenen Vorzeichens entgegengesetzt ausschlagen — aber diese Schwingungen haben abweichende Frequenzen, nämlich die Reststrahlfrequenzen des betr. Kristalls. (Außerdem gibt es natürlich weitere Eigenfrequenzen des Kristallgitters, die aber optisch nicht bemerkt werden, weil die Ionen so schwingen, daß ihre ausgestrahlten Felder sich nicht verstärken.) Solange die üblichen linearen Ansätze für die Schwingungen der Kristallionen um die Gleichgewichtslagen zu Recht bestehen, läßt sich der von der einfallenden Welle erzwungene Schwingungszustand nach bekannten Sätzen der Mechanik aus den Eigenschwingungen des Kristalls aufbauen. Dabei wird die einmal in den Kristall eingedrungene Welle ohne Energieverlust weitergetragen. Das trifft offenbar für sehr niedere Temperaturen in allen den Fällen zu, wo die Frequenz geringer als die Reststrahlfrequenzen ist. Ob für höhere Frequenzen auch am absoluten Nullpunkt eine Absorption stattfinden kann? Etwa weil  $h\nu$  für die auffallende Strahlung größer als für die der Ionenbewegung entsprechende Eigenschwingung ist? Der Befund bei NaCl und KCl spricht dagegen, daß die Quanten so einfach mitwirken. Man wird die augenscheinlich besonders einfachen Verhältnisse bei KCl und NaCl vielleicht eher damit in Zusammenhang bringen, daß dies reguläre Kristalle mit 2-atomiger Basis sind, die nach den allgemeinen, von M. Born aufgestellten Sätzen nur eine einzige Reststrahlfrequenz haben, daß hingegen Flußspat und Quarz mit ihrer mehratomigen Basis eine größere Anzahl solcher Schwingungsmöglichkeiten aufweisen. — Im übrigen ist man wohl berechtigt, in der Absorption eine Folge des nicht-linearen Kräftespiels zwischen den Ionen zu sehen, das dann statthat, wenn die Ionen sich infolge der Temperaturbewegung weiter aus ihren bei  $T=0$  eingenommenen Lagen entfernen. Hört die Linearität auf, so setzt eine Koppe-

lung zwischen den Eigenschwingungen des Kristalls ein (soweit man solche überhaupt noch angeben kann) und die Energie wird nicht nur in der Fortpflanzungsrichtung der erzwungenen Welle weitergetragen, sondern in andere Richtungen und andere Frequenzen zersplittert und zu Wärmebewegung degradiert. Dieser gleiche Vorgang ist nach P. Debyes schöner Vorstellung für die schlechte Wärmeleitung verantwortlich zu machen, da ja bei ungehinderter Ausbreitung der elastischen Wellen im Kristall die Wärmebewegung mit Schallgeschwindigkeit übertragen werden müßte.

Zwischen der Theorie der Wärmeleitung und den Messungen von Rubens und Hertz besteht demnach ein enger Zusammenhang. Wie uns in den Reststrahlen mehr Einzelheiten über die Schwingungsvorgänge im Kristall offenbar werden, als in der einen Konstante der spezifischen Wärme, die eine Summenbildung über die verschiedensten Schwingungen ist, so dürfen wir hoffen, in der Absorption der ultraroten Strahlen die Vorgänge nach Frequenzen und Richtungen im einzelnen verfolgen zu können, deren Gesamtwirkung die Wärmeleitfähigkeit bestimmt. Im Interesse dieser sehr ungeklärten und sehr bedeutenden Probleme ist zu hoffen, daß die von Rubens und Hertz so erfolgreich angefangenen Untersuchungen bald wieder aufgenommen werden.

Stuttgart, den 28. Oktober 1922. P. P. Ewald.

## Mitteilungen aus verschiedenen biologischen Gebieten.

**Alkohol und Nachkommenschaft.** Ein sehr wichtiges Kapitel der Vererbungslehre stellt die Frage nach der Wirkung des Alkoholismus auf die Nachkommenschaft dar. Einen kurzen Überblick über die neuesten praktischen Erfahrungen gibt ein Aufsatz von Agnes Blum, in dem auch eigene Versuchsdaten angeführt werden. (Zeitschr. f. ind. u. med. Genet. 28, 1922). Im Tierexperiment konnte in den meisten Fällen eine deutliche Schädigung der Nachkommenschaft festgestellt werden. Dies äußert sich nicht bloß in der Wurfszahl, sondern auch in der Anzahl der gelungenen Paarungen. So sind bei Mäusen in der Kombination normal  $\times$  normal von 197 Paarungen 32 steril, d. h. 16,24 %, in der Kombination alkoholisiertes Männchen  $\times$  normales Weibchen dagegen 163 von 263 Paarungen erfolglos, also 61,97 %. Bei der Kreuzung von normalen Männchen mit alkoholisierten Weibchen geht die Wurfszahl von 4,94 (normal) auf 3,85 zurück. Mit diesen Erfahrungen der Verfasserin stimmen auch sehr schön die Daten überein, die Stockard bei Meerschweinchen fand: ebenfalls Rückgang der Wurfszahl und der erfolgreichen Paarungen, ein Verhalten das sich erst in der vierten Generation wieder ausglich. Dagegen soll bei Hühnern nach Pearl die Fruchtbarkeit beim Männchen durch Alkohol erhöht, und bloß beim Weibchen herabgesetzt werden. Damit geht eine Angabe von Bilski über Frösche parallel, wonach das Ei für Alkohol viel empfänglicher ist als das Spermium. Bei schwacher Alkoholisierung wurde eine Vermehrung der Embryonenzahl festgestellt, wie dies mitunter ja auch bei menschlichen Alkoholikern (z. B. von Arrivé, Laitinen) angegeben wird. Möglicherweise haben wir es hier mit der bekannten Erscheinung zu tun, daß Gifte erst fördern und dann hemmen.

Auch die Geschlechtsverhältnisse der Nachkommenschaft können durch Alkoholeinwirkung verschoben werden. So fand Blum bei Mäusen



als normale Männchenziffer 44,24 %; durch Alkoholisierung konnte diese Zahl auf 54,98 % emporgeschraubt werden. *Bluhm* sucht dies dadurch zu erklären, daß bei den Mäusen, wie dies für Wirbeltiere die Norm ist, zwei Sorten von Spermien vorhanden sind, männchenbestimmende und weibchenbestimmende, und daß die ersteren den letzteren gegenüber hinsichtlich der Alkoholresistenz überlegener sind. Das Umgekehrte wäre nach den Daten von *Pearl* für Hühner anzunehmen; hier findet unter der Nachkommenschaft alkoholisierter Tiere eine Verschiebung zugunsten der Weibchen statt (45 % ♂ : 55 % ♀, statt 50 : 50 %).

Auch die Qualität der Nachkommenschaft leidet durch Alkoholismus not. Das äußert sich zunächst in der Sterblichkeit. Bezeichnet man die Jugendsterblichkeit normaler Individuen mit 100, so fand *Stockard* bei Meerschweinchen für die Nachkommen alkoholisierter Väter 178, für die alkoholisierter Mütter sogar 281. Ferner sinkt das Geburtsgewicht und es treten eine Menge von Störungen auf, „wie Fehlen des Großhirns, eines der beiden Augäpfel, ferner Star, Mißbildungen und Lähmungen von Extremitäten“. Mit dem Einfluß des Alkohols auf die geistige Verfassung der Nachkommenschaft beschäftigt sich eine Arbeit von *Mac Dorrell* und *Vicari* über Ratten. Die Abkömmlinge alkoholisierter Ratten wurden vor die Aufgabe gestellt, in einem bestimmt gebauten Irrgarten ihre Nahrung aufzusuchen und wurden mit normalen Tieren verglichen. Das Resultat dieser Versuche, die mit der nötigen Kritik ausgeführt wurden, war folgendes: „In der ersten Periode des schnellen Übens brauchte der Durchschnitt der Alkoholikerenkel mehr Zeit zur Erreichung des Ziels als die normalen Kontrolltiere, und die Schwankungen der gebrauchten Zeit bei den einzelnen Individuen waren größer auf Seiten der ersteren, als auf Seiten der letzteren. Ebenso waren die unnötigen Wege größer bei Alkoholikernachkommen als bei den normalen.“ Der Alkoholismus äußert sich also in der verschiedensten Weise in der Nachkommenschaft, und die Nachwirkung kann sich über mehrere Generationen erstrecken. Ob aber durch den Alkohol eine dauernde, genotypische Veränderung erzielt werden kann, diese Frage harret noch der Lösung.

**Die Einwirkung von Überreife auf die Eier von *Rana temporaria*.** Durch die bekannten Versuche von *Hertwig* ist der Nachweis erbracht worden, daß die Überreife der Eier beim Frosch das theoretische Geschlechtsverhältnis (50 % ♀ : 50 % ♂) zugunsten der Männchen verschiebt. Später ist es dann *Kuschakewitsch* sogar gegliückt, den Prozentsatz der Männchen durch Überreife auf 100 % emporzutreiben. Zur Erklärung dieser Erscheinung eröffnen sich zwei Wege. Im Anschluß an die Untersuchungen *Seilers* über Insekten könnte man daran denken, daß auch die Frösche heterogametisch sind im weiblichen Geschlecht, daß sie also zwei Sorten von Eiern, solche mit und ohne x-Chromosom, bilden, von denen die ersteren bei der Befruchtung ♀♀, die zweiten ♂♂ liefern. Die Überreife würde dann dahin wirken, daß bei den Reifungsteilungen das x-Chromosom in der Mehrzahl der Fälle im Ei verbleibt, statt bei 50 % — den Zufallsgesetzen entsprechend — in den Richtungskörper zu wandern. Dadurch würde der Männchenüberschuß auf zytologischer Grundlage erklärt. Dieser Deutung steht aber die Tatsache entgegen, daß bei den Wirbeltieren, soweit bekannt ist, das männliche Geschlecht heterogametisch ist, und so ist auch *Hertwig* selbst nachträglich zu einem anderen Erklärungsversuch gelangt, der durch eine neuere Arbeit von *Eidmann* (Biol. Zentrbl.

42, 1922) eine Stütze erhält. Seine Versuche, die sich auf *Rana temporaria* erstreckten, führten ihn im Einklang mit *Hertwig* zu der Auffassung, daß die Geschlechtsbestimmung beim Frosch metagam verschoben wird. Darauf deuten gewisse entwicklungsgeschichtliche Befunde. Es zeigte sich nämlich, daß bei den Abkömmlingen von überreifen Eiern im Laufe der ontogenetischen Entwicklung eine Verschiebung der Geschlechtsverhältnisse derart eintritt, daß Formen mit ursprünglich weiblicher Tendenz durch nachträgliche Umdifferenzierung der Geschlechtsorgane zu Männchen werden. „Den Anstoß zu dieser metagam erfolgenden Umbildung liefert offenbar die Überreife.“ Zytologisch wäre dieser Vorgang in folgender Weise zu denken: *Rana* ist heterogam im männlichen Geschlecht. Es werden zweierlei Spermatozoiden gebildet, solche mit und ohne x-Chromosom. Die Formen mit x-Chromosom entwickeln sich zu Weibchen, die ohne x-Chromosom zu Männchen, und beide stehen im Verhältnis 50 : 50 %. Die Überreife wirkt nun dahin, daß bei einem Teil der Eier, die von männlicher Seite aus ein x-Chromosom mitbekommen haben, dieses Chromosom degeneriert und somit sekundär der männliche Chromosomenbestand hergestellt wird. Diesen Gedanken hat auch schon *Hertwig* geäußert. Er sagt: „Dieses Verhalten erinnert an die Vorkommnisse, die wir für manche hermaphrodite Tiere kennen, bei denen zunächst homogamete Weibchen entstehen, bei denen im Laufe der Entwicklung die Möglichkeit, Hoden zu erzeugen, dadurch geliefert wird, daß in einem Teil der Geschlechtszellen das eine von den beiden x-Chromosomen in Verlust gerät.“ Beispiele derartiger metagamer Geschlechtsänderung sind auch anderweitig bekannt, so bei dem Wurm *Bonellia*, wo die Entscheidung davon abhängt, ob das Tier zu parasitärer Lebensweise übergeht oder nicht.

**Vererbung des Geschlechts bei den Fröschen.** Zahlreiche Vererbungsarbeiten der letzten 1½ Jahrzehnte haben gezeigt, daß die Vererbung des Geschlechts vielfach den Mendelschen Regeln folgt, und zwar in der Weise, daß das eine Geschlecht homo-, das andere heterozygotisch ist in einem Geschlechtsfaktor. Das eine bildet bloß eine, das andere zwei Sorten von Keimzellen, von denen die einen männchen-, die anderen weibchenbestimmend sind, in gleicher Anzahl; auf diese Weise kommt die Sexualrelation 50 % : 50 % zustande. Je nachdem das ♀ oder das ♂ Geschlecht heterozygotisch ist, spricht man von *Abraxas*- bzw. *Drosophila*-Typus. Dieser Modus der Geschlechtsvererbung ist aber bei den getrenntgeschlechtlichen Organismen keineswegs der einzige. Es gibt vielmehr Formen, bei denen die jungen Embryonen geschlechtlich indifferent sind und bei denen erst äußere Faktoren entscheiden, welches Geschlecht zum Durchbruch gelangt. Eine genotypische Scheidung in ♂♂ und ♀♀ ist hier also noch nicht eingetreten. *Witschi* führt nun in einer interessanten Arbeit (Zeitschr. f. ind. Abst. 29, 1922) aus, daß sich bei den Fröschen eine regelmäßige Stufenleiter von dem „undifferenzierten“ Typus, der als der primäre anzusehen ist, zum differenzierten feststellen läßt. Beim undifferenzierten Typus enthält jedes Individuum sowohl die männlichen wie auch die weiblichen Faktoren komplett, die genotypische Struktur ist *FFMM* (*F* = ♀, *M* = ♂ Faktor), *FF* und *MM* halten einander das Gleichgewicht — genau wie bei normalen Hermaphroditen, und erst sekundär durch Besonderheiten in der individuellen Entwicklung gelangen je nachdem die ♂ oder ♀ Charaktere zum Durchbruch. Andere Froschrassen dagegen folgen dem *Drosophila*-Typus; die ♂♂ sind also hetero-



zygot; die Erbformeln sind: ♀ = FFMM, ♂ = FfMM; FF dominiert über MM, dagegen MM über Ff. Es ist also gegenüber dem undifferenzierten Typus eine quantitative Abstufung der beiden Faktoren für Weiblichkeit eingetreten:  $F > f$ ; das ist aber nicht die einzige Änderung; vielmehr hat auch F seine Valenz derart geändert, daß  $F > M$ . Dieser Entwicklungsgang hat sich nun bei den Fröschen offenbar in verschiedenen Etappen abgespielt: f hat schrittweise an Valenz verloren, so daß man folgende Reihe aufstellen kann:  $F$  (undifferenzierte Rasse)  $\rightarrow \frac{4}{5}F \rightarrow \frac{3}{5}F \rightarrow \frac{2}{5}F \rightarrow \frac{1}{5}F \rightarrow 0$ . Gleichsinnig damit hat F seine Valenz gegenüber dem Ausgangswert in der undifferenzierten Rasse stufenweise verstärkt. Die Gültigkeit dieses Schemas wird an verschiedenen Beispielen, eigenen und solchen, die von Hertwigs Versuchen stammen, erläutert. Die einzelnen Stufen ließen sich tatsächlich fassen. Es ergab sich dabei, daß in den ersten Phasen der Valenzverschiebung das Übergewicht nach der einen oder der anderen Seite noch zu gering ist, daß trotz der genotypischen Verschiedenheit intermediäre Embryonen resultieren; daß hier aber tatsächlich eine phänotypisch nicht zum Ausdruck gelangende genotypische Spaltung in 50 % ♂♂ und 50 % ♀♀ vorliegt, das läßt sich dadurch nachweisen, daß die eine Hälfte der Nachkommenschaft (die Ffmm) durch metagame Faktoren leichter in phänotypische Männchen umgewandelt werden kann als die andere. Wie dann weitere Versuche Witschis zeigen, sind auch die genotypisch scharf differenzierten ♂♂ und ♀♀ noch weitgehend bipotent, d. h. sie können je nach den Bedingungen in die männliche oder weibliche Entwicklungsrichtung gedrängt werden; das geht so weit, daß man eine sekundäre Metamorphose bereits differenzierter Geschlechtsorgane erzwingen kann. Das gelingt sehr leicht durch Temperatureinflüsse; hohe Temperaturen begünstigen die Produktion von Männchen, niedere diejenige von Weibchen. Aber die Temperatur wirkt bloß indirekt; entscheidend sind die trophischen Verhältnisse: Kälte fördert die Stoffspeicherung, Hitze den Stoffabbau. „Stoffspeicherung ist aber das charakteristische Merkmal der weiblichen Geschlechtszellen und plasmatische Reduktion ein ebensolches für die männlichen.“ Schließlich sei noch erwähnt, daß Witschi auch zytologische Untersuchungen über den Chromosomenbestand anstellte, um zu ermitteln, ob etwa der genotypischen Differenzierung auch eine Spaltung in X- und Y-Chromosomen entspricht, wie sie so häufig mit der heterogametischen Geschlechtsvererbung Hand in Hand geht. Anhaltspunkte dafür boten sich tatsächlich bei einem Davoser Froschmännchen, doch ist die Frage noch nicht spruchreif.

Das verschiedene Verhalten der Chromosomen in Eireifung und Samenreifung von *Lymantria monacha* L. Recht auffällige Abweichungen vom normalen Verhalten der Chromosomengarnitur beim Kernphasenwechsel beschreiben Seiler und Haniel für die Nonne (*Lymantria monacha* L.)<sup>1)</sup>. Die normale, diploide Chromosomenzahl in somatischen Zellen beträgt 62. Demnach wäre als haploide Zahl bei den Reifungsteilungen 31 zu erwarten. Diese Zahl 31 tritt tatsächlich auch bei der ersten Reifungsteilung des Eies auf; am Schlusse der zweiten Reifungsteilung sind aber bloß noch 28 Chromosomen vorhanden, von denen sich eines durch besondere Größe auszeichnet. Daß es durch Aneinanderreihung von vier einzelnen Chromosomen entstanden ist, läßt sich manchmal an Querkerben noch

deutlich erkennen. Im männlichen Geschlecht setzt diese Verschmelzung schon früher ein, denn bei den Spermatozyten tritt die Zahl 28 schon bei der ersten Reifungsteilung auf, und auch hier fällt sofort ein Chromosom durch seine abweichende Größe auf. Demnach enthält die junge Zygote  $2 \times 28 = 56$  Chromosomen; schon in den nächsten Teilungen läßt sich aber wieder die typische Zahl 62 nachweisen, so daß also die Aufspaltung des „Sammelchromosoms“ sehr bald erfolgen muß. Offenbar befindet sich *L. monacha* in einem Umbildungsprozeß, der sich in einer Reduktion der Chromosomenzahl durch Verschmelzung äußert. Damit stimmt die Tatsache überein, daß andere *L.*-Arten (*L. dispar.*, *L. japonica*) einen normalen Kernphasenwechsel (62 : 31 Chromosome) aufweisen. Dieser Reduktionsprozeß ist im männlichen Geschlecht schon weiter fortgeschritten. Das ist eine schöne Parallele zu den Beobachtungen Goldschmidts an demselben Objekt, über die im letzten Band dieser Zeitschrift berichtet wurde. Das Flügelkleid der Nonne macht gegenwärtig offenbar eine Wandlung zu dunkleren Farbtönen durch (Melanismus), und auch hier eilen die Männchen den Weibchen voran. Die Befunde von Seiler und Haniel werfen auch ein Licht auf die grundlegenden Untersuchungen Morgans über die Taufliede (*Drosophila*). Bei diesem Objekt sind im haploiden Zustande vier Chromosomen vorhanden und im Einklang damit hat sich ergeben, daß sich die Erbfaktoren in vier Gruppen einreihen lassen, die jede für sich als gesamter Komplex übertragen wird. Es liegt also „Koppelung“ vor. Nun hat sich aber herausgestellt, daß diese Koppelung nur im männlichen Geschlecht absolut ist, daß aber im weiblichen Geschlecht häufig eine Aufspaltung der Faktoren zu verzeichnen ist, die in einem Chromosom ihren Sitz haben. Dies hat zur Annahme des „crossing-over“ geführt, d. h. zu der Vorstellung, daß korrespondierende Chromosomen bei der Reduktionsteilung Teilstücke gegeneinander austauschen. Dieser Austauschmechanismus kann nun so erklärt werden, daß wir es auch bei *Drosophila* mit Sammelchromosomen zu tun haben. Typischerweise würden dann immer auf Grund einer besonderen Anziehungskraft bloß väterliche oder mütterliche Teilchromosome zusammentreten, ausnahmsweise könnten aber am Aufbau eines Sammelchromosoms teils väterliche, teils mütterliche Teilchromosomen teilnehmen. Auf diese Weise würde das „crossing-over“ eine einfache Erklärung finden.

Stark.

Untersuchungsfahrt des Reichsforschungsdampfers „Poseidon“ in das Barentsmeer im Juni und Juli 1913. (Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen, herausgegeben von der Kommission zur wissenschaftlichen Untersuchung der deutschen Meere in Kiel und der Biologischen Anstalt auf Helgoland N. F. 13. Bd., Abteilung Helgoland, Heft 2, 1922.) — (1) Die von Ludwig Scheuring bearbeitete Sammlung der Echinodermen ist in Form einer Liste mit faunistischen und ökologischen Hinweisen publiziert. Der häufigste unter den Seeigeln, der in arktischen Gewässern weithin bekannte *Strongylocentrotus dröbrachiensis*, zeigte „eine ans Unglaubliche grenzende“ Variationsfähigkeit. Ein bestimmtes Gesetz in den Variationen ließ sich jedoch nicht auffinden, jedenfalls nicht in der Färbung; doch schien es, daß Individuen von Schlickgrund dünnchaliger sind als solche von Sand- oder Steinboden, und daß Skelett und Bestachelung der Flachwasserformen sehr viel derber als der Tiefenformen war. Der Seeigel lebt von 0 bis 1200 m Tiefe.

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. indukt. Abst. 27, 1921.



(Ganz ähnliche Erfahrungen über Körperkonstitution habe ich an den Steinseiegeln *Paracentrotus lividus* und *Sphaerechinus granulatus* der Adria gesammelt; es variierte da die Form von flachen, käseförmigen Individuen bis zu steil kegelförmigen, von dünn-schaligen, zerbrechlichen, bis zu dickschaligen, robusten, und es variierte auch die Zahl und Länge der Stacheln. Dabei schien es, daß immer die Tiere von einer Siedelung auch annähernd gleich konstruiert waren, so daß man den Eindruck von besonderen „Seegeldörfern“ hatte. Ähnliche Beobachtungen habe ich bereits über die adriatische Ctenophore *Pleurobrachia pileus* veröffentlicht, und wird *Hans Wiesner* demnächst über *adriatische Milioleden* bekanntgeben. Es liegt hier eine ganz allgemein durchgeführte Formabwandlung vor.)

Die *Schlangensterne* haben ihre größten Massen auf den tieferen und schlickbedeckten Gründen des Murmaumes entfaltet. — Wie *W. Micck*, der wissenschaftliche Leiter der Fahrt, bemerkt, waren reich, sowohl an Arten wie an Individuen, die tieferen schlickbedeckten Gründe, arm dagegen die sandigen Bänke. Die Grenze der beiden Regionen fällt ungefähr mit der 100-m-Tiefenlinie zusammen. Je weiter man am Abhang der östlichen Bänke in die Tiefe gelangt, desto größeren Echinodermenreichtum trifft man an. Die reiche Echinodermenfauna der westlichen Region folgt den von Westen und Nordwesten her in das Plateau der östlichen Bänke vordringenden Rinnen, die nach Osten allmählich flacher und gleichzeitig an Echinodermen ärmer werden. Es treibt im Verlaufe eben dieser Bodenvertiefungen das wärmere und salzgere atlantische Wasser seine allmählich versiegenden Adern in das kalte und weniger salzige arktische Wasser hinein, das sich auf den Bänken befindet. Vermutlich sind diese Unterschiede in der Beschaffenheit des Wassers neben denen der Tiefe und Bodenart für die Verbreitung mancher Arten der Echinodermen von wesentlicher Bedeutung. — Die Verbreitungsweise der Echinodermen steht im Gegensatz zu der der *Ascidien*, die nach *Hartmeyer* und *Micck* auf den Bänken im Osten, die diese festsetzenden Tiere in dichten Mengen bedecken, günstigere Lebensbedingungen finden als im tieferen westlichen Teile. — (2) Unter den von *Ludwig Scheuring* festgestellten *Hydroiden* war die Variabilität einzelner Arten sehr groß, so groß, daß man bei näherem Zusehen vermutlich als Varianten einer Art erkennen wird, was bisher als gute Art galt. — Wie *W. Micck* feststellt, verschwinden die *Hydroiden* je weiter von der Küste entfernt und je tiefer das Wasser ist. Zur Entfaltung größerer Massen kommt es am Eingang des Weißen Meeres und um Kanin auf Riffboden, Molluskenschalen, an *Ascidien*, *Balaniden*, also auf festerem Untergrund. Die allgemeine Verbreitung zeigt naturgemäß große Ähnlichkeit mit der der *Ascidien*. In dem aus dem Weißen Meere abfließenden Wasser fanden sich dichte Massen abgestorbener *Hydroiden*stücke, *treibend und rollend*. — (3) Die *Fische* von *Martin Thielemann*. Es war in erster Linie die Aufgabe der Expedition, über die Zusammensetzung des Fischbestandes der Barentssee Klarheit zu gewinnen. „Alle Fänge, welche die großen Fischnetze an Bord brachten, wurden deshalb qualitativ und quantitativ untersucht. Es gelang, ein recht beträchtliches Material zusammenzubringen, das instand setzt, zahlenmäßig festzustellen, beispielsweise wieviele Nutzfische auf verschiedenen Gründen in einem gleichen Zeitraum erbeutet wurden; um welche Größenstufen es sich dabei handelte; in welcher

Prozentzahl die beiden Geschlechter in den Fängen vorhanden waren, und anderes mehr.“ Die vorliegende Arbeit berichtet zunächst nur beschreibend über die erbeuteten Arten, über deren Verbreitung im Untersuchungsgebiet während der Fahrt und über ihre Ernährungsweise. Die übrigen Themata sollen später behandelt werden. Es sind insgesamt 41 Fischarten erbeutet worden. Besondere Aufmerksamkeit wurde dem Mageninhalt der Fische gewidmet, der bei einer größeren Zahl von Arten qualitativ und stets auch quantitativ bestimmt werden konnte. Es lassen „diese Untersuchungen erhebliche Abweichungen von den Verhältnissen in der Nordsee erkennen“. Die oft massenhaft vorkommenden *Pycnogoniden* fanden wir nie als Mageninhalt; die Seespinnen (*Hyas*) relativ selten, wenn man ihr oft ganz unerhört zahlreiches Auftreten in Betracht zieht. Die Garneelen *Sclerocrangon boreas* und *ferox* scheinen durch ihre starke Panzerung gleichfalls vor dem Los, ein bevorzugtes Nahrungsmittel der Fische darzustellen, geschützt zu sein. Eine wichtige Nahrungsquelle für einige der häufigsten Nutzfische bilden die Echinodermen: so fallen die *Seewölfe*, *Anarrhichus*, die *Seesterne* *Ctenodiscus* und *Sollaster* den Seiegeln *Strongylocentrotus*, vor allem aber die *Ophiuriden* an. Auch die *Schellfische* stellen den *Schlangensteinern* nach. — (4) *W. Fischer: Gephyreen der Arktischen Meere*. Diese Arbeit greift weit über die Barentssee hinaus. „Die Meere der Arktis beherbergen im Gegensatz zum Lande eine reiche Tierwelt, eine Folgeerscheinung der geringen Temperaturschwankungen jener Meere, die als günstigere Lebensbedingungen für die Mehrzahl der Tiere anzusehen sind als die in weiten Grenzen schwankenden Wärmeverhältnisse der Meere der gemäßigten Zonen. Daher sind sie auch die Geburtsstätten ungeheurer Fischmengen, Milliarden von Krebsen, Weichtieren usw., und nicht zuletzt die Heimat unserer größten lebenden Tiere, der Wale, die mit letzteren ihre Bäche füllen. Indessen bedingt gerade dieser konservative Charakter der Arktis, der einen intensiven Kampf ums Dasein ausschließt, wohl die Züchtung zahlreicher Individuen, aber nicht die zahlreicher Arten.“ Diese Artenarmut offenbart auch das von *Fischer* hier bearbeitete Gephyreenmaterial des „*Poseidon*“ und das zweite ältere deutscher Expeditionen in das benachbarte Spitzbergengebiet (S. M. S. „*Olga*“ und der Fahrt der „*Helgoland*“ von *Römer* und *Schaudinn*). Ist das Gebiet in bezug auf die *Sternwürmer* auch arm an Arten, so doch reich an *Varietäten*, „deren Abgrenzung infolge der zahlreichen Übergänge so schwierig ist, daß je nach der Ansicht der Forscher Varietäten zu Arten und umgekehrt gemacht wurden. Im besonderen hat sich ergeben, daß *Phascolosoma margaritaceum*, *Phascolion strombi* und evtl. auch *Echiurus echiurus* circumpolare Arten sind. — (5) *Ferdinand Pax: Zoantharien und Actiniarien*. Sämtliche Arten der Sammlung sind schon durch ältere Forschungsfahrten als Bewohner der Murmanküste nachgewiesen worden.

Thilo Krumbach.

**Das Verhältnis der Eigröße zur Körpergröße des Vogels.** Dem Laien erscheint es ganz selbstverständlich, daß ein großer Vogel ein großes Ei legt, ein kleiner Vogel dagegen ein kleines Ei. Dieser Satz gilt jedoch nur, wenn man die absolute Eigröße mit der Körpergröße des Vogels vergleicht; ein Straußenei ist eben größer als ein Zaunkönigsei. Zieht man dagegen bei diesem Vergleich die relative Eigröße in Betracht, d. h. das Verhältnis der Eigröße zur Körpergröße des Vogels, so erhalten wir zu unserer Überraschung ein

ganz anderes Resultat. Der afrikanische Strauß wiegt 90 kg, sein Ei 1,5 kg, also  $\frac{1}{60}$  seines Körpergewichts; der Zaunkönig wiegt 9,5 g, sein Ei 1,3 g, also  $\frac{1}{7}$  seines Körpergewichts. Wir sehen daher, daß der winzig kleine Zaunkönig im Verhältnis zu seiner Körpergröße ein sehr viel größeres Ei legt als der riesengroße Strauß.

Der bekannte Biologe Dr. Oscar *Heinroth* hat nun für eine große Anzahl von Vögeln die Eigewichte und Körpergewichte zusammengestellt und die Ergebnisse seiner vergleichenden Studien in einer sehr interessanten Arbeit „Die Beziehungen zwischen Vogelgewicht, Eigewicht, Gelegegewicht und Brutdauer“ im Journal für Ornithologie, Heft 2/3 1922, veröffentlicht. Der Verfasser gibt die Größe der Eier und der Vögel in Gewichten an, weil diese allein die wirkliche Größe zutreffend kennzeichnen, während die äußeren Maße ein durchaus falsches Bild von der Größe geben können, was besonders für die Vögel zutrifft, bei denen Hals, Beine und Schwanzfedern außerordentlich verschieden lang sind. Bei den Eigewichten handelt es sich stets um das Gewicht des frisch gelegten Eies. Die Bestimmung dieser Gewichte, die häufig auf große Schwierigkeiten stößt, hat *Heinroth* nach einem von ihm erfundenen, sehr sinnreichen Verfahren ausgeführt. Er stellte fest, daß ein ausgeblasenes Ei, mit Wasser gefüllt, ungefähr dasselbe Gewicht hat wie das frisch gelegte Ei. Der an und für sich minimale Unterschied beträgt nicht mehr als die Gewichtsschwankungen der Eier derselben Vogelart. So wiegt z. B. ein ausgeblasenes, mit Wasser gefülltes Wanderfalkenei 43,7 g, das in frischem Zustande 44 g wiegt. Es zeigen sich also nur geringe Abweichungen nach unten. Auf diese Weise konnte *Heinroth* unter Benutzung der reichhaltigen Eiersammlung des Berliner Museums für Naturkunde eine große Anzahl von Eigewichten bestimmen.

*Heinroth* hat das Ergebnis seiner Untersuchungen in Tabellen zusammengestellt und gibt außerdem auf 7 Tafeln in Kurven eine Übersicht von den Beziehungen zwischen Eigewicht, Gelegegewicht, Brutdauer und Körpergewicht. Hieraus sehen wir, daß unter den Flachbrustvögeln (Ratites) der Kiwi durch ein riesengroßes Ei von  $\frac{1}{5}$  seines Körpergewichtes auffällt, während die Eier des afrikanischen Straußes, des Emu und der Kasuare nur  $\frac{1}{60}$ — $\frac{1}{80}$  des Körpergewichts wiegen. Die riesige Eigröße beim Kiwi ist wohl hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß das Gelege nur von einem Ei gebildet wird. Bei den Raubvögeln finden wir, daß die Eier der kleineren Formen trotz größerer Eizahl der Gelege relativ größer sind als die Eier der großen Raubvögel, deren Gelege nur aus 1 oder 2 Eiern besteht. Das relative Eigewicht des Mäusebussards, der 3—4 Eier legt, ist  $\frac{1}{13}$ , des Gänsegeiers, der nur 1—2 Eier legt,  $\frac{1}{30}$ , also noch nicht die Hälfte. Wir sehen hieraus, daß mit der Zunahme der Kleinheit der Vögel einer Gruppe die relative Eigröße wächst, wofür sich auch aus anderen Familien nach *Heinroths* Zusammenstellung zahlreiche Beispiele anführen lassen. Daß kleine Vögel relativ größere Eier legen müssen als größere Vögel, ist schließlich ganz natürlich, wenn man bedenkt, daß aus biologischen Gründen die Eigröße unter ein gewisses Maß nicht herabsteigen kann, wenn ein lebensfähiger Embryo erzeugt werden soll. Relativ große Eier legen Gänse, Schwäne und Enten ( $\frac{1}{11}$ — $\frac{1}{20}$ ). Die Jungen kommen als sehr entwickelte Nestflüchter zur Welt, die der elterlichen Pflege und Führung nur wenig bedürfen. Das hohe Entwicklungsstadium des Embryo verlangt also ein großes Ei. Im Gegensatz hierzu sind die Eier

der Pelikane und Kormorane, die Nesthocker sind, mit einem relativen Gewicht von nur  $\frac{1}{42}$ — $\frac{1}{68}$  sehr klein. Eine Ausnahme macht jedoch die Zwergscharbe mit einem Index von  $\frac{1}{16}$ , der wohl mit der geringeren Körpergröße zusammenhängt. Die zu den Nesthockern gehörenden Singvögel legen verhältnismäßig kleine Eier, wobei sich wieder zeigt, daß mit der Abnahme der Körpergröße die Eigröße zunimmt. Unser größter deutscher Singvogel, der Kolkrabe, legt ein sehr kleines Ei, das nur  $\frac{1}{45}$  seines Körpergewichts beträgt, das Goldhähnchen, unser kleinster Singvogel, dagegen ein verhältnismäßig großes Ei mit  $\frac{1}{7}$  des Körpergewichts.

Wenn man Vögel verschiedener Gruppen mit gleichem relativen Eigewicht zusammenfaßt, so gelangt man zu recht unerwarteten Zusammenstellungen. Ein Ei von etwa 5 % des Körpergewichts wird erzeugt von: Spechten, Singvögeln, Wiedehopf, Tauben, Hühnern, Kormoranen, Enten, Raubvögeln, Schwänen, Trappe und Emu, also von Vögeln ganz verschiedener Ordnungen, teils Nestflüchtern, teils Nesthockern.

Im allgemeinen kann man nach *Heinroth* sagen, daß Kleinheit des Vogels, Nestflüchtern, d. h. weit vorgeschrittene embryonale Entwicklung, geringe Eizahl im Gelege und lange Brutdauer auf die relative Eigröße steigend einwirken, ohne daß sich jedoch aus diesen Regeln eine zwingende Notwendigkeit ergibt. Sie gelten meist nur innerhalb einzelner Gruppen, und beim Vergleich der Ordnungen und Familien ergibt sich auch häufig gerade das Gegenteil. Ein durchgreifendes Gesetz läßt sich also nicht herausfinden.

Eine noch größere Unregelmäßigkeit ergibt sich in den Brutdauern der Vögel und der einzelnen Vogelgruppen. Der Höckerschwan von 9 kg Körpergewicht zeitigt seine 5—8 Eier, denen hochentwickelte Nestflüchter entschlüpfen, in 35 Tagen, während der kleinere Lämmergeier von 6 kg Körpergewicht zur Bebrütung des einen Eies, das er legt, und dem ein sehr langsam heranwachsender Nesthocker entschlüpft, 55 Tage gebraucht. Dabei haben die Eier beider Vögel dieselbe relative Größe von 4 % des Körpergewichts. Auffallend lang sind die Brutzeiten der Sturmvögel. Die Sturmschwalbe, *Hydrobatus pelagicus*, erzeugt in 36tägiger Brutdauer einen nur sehr unvollkommenen Nesthocker; der Nandu, *Rhea americana*, brütet in derselben Zeit seine als Nestflüchter ausschlüpfenden Jungen aus. Der Baßtöpel hat sogar eine Entwicklungsdauer im Ei von 43 Tagen und kommt dabei als ein sehr hilfloser, noch lange der elterlichen Pflege bedürftiger Gesell auf die Welt. Im Gegensatz hierzu steht die überaus kurze Brutdauer der zu den Nestflüchtern gehörenden Laufhühnchen (*Turnix*) von nur 13 Tagen. Dieselbe Brutzeit findet sich aber auch bei den kleineren Singvögeln, wie Drosseln, Nachtigall, Rotschwanz, Finken, deren Junge als völlig hilflose Nesthocker dem Ei entschlüpfen. Nach *Heinroth* sind sehr lange Brutdauern als etwas Ursprüngliches aufzufassen, die sich meist dort erhalten haben, wo die Brut wenig gefährdet ist. Kurze Brutdauern werden durch absolute Kleinheit des Eies, Nesthockertum und starke Gefährdung der Brut (besonders Bodenbrüter) hervorgerufen. Da die meisten Nestflüchter Bodenbrüter sind, so finden wir häufig eine kurze Brutdauer trotz der hohen Entwicklung des Embryo.

Das Gewicht des neugeborenen Vogels beträgt nach *Heinroth* bei allen von ihm untersuchten Vogelgruppen ziemlich genau  $\frac{2}{3}$  des Gewichts des frisch gelegten Eies.

Fr. von Lucanus.



## Astronomische Mitteilungen.

**Die Massen der Doppelsterne.** Aus den Bahnelementen und der Parallaxe eines Doppelsterns kann man die Gesamtmasse des Systems berechnen nach der Formel:

$$m_1 + m_2 = \frac{a^3}{P^2 \pi^3}$$

Darin ist  $a$  die halbe Achse der Bahn, gemessen in Bogensekunden,  $P$  die Periode eines Umlaufes, gemessen in Jahren,  $\pi$  die Parallaxe,  $m_1$  und  $m_2$  die Summe der Massen beider Komponenten in Einheiten der Sonnenmasse. Die starke Bereicherung unserer Kenntnisse der Parallaxen von Doppelsternen hat eine Reihe von Berechnungen dieser Art veranlaßt. Aitken gibt in seinem Buche: *The binary stars* (New York 1918) eine Zusammenstellung von 14 Sternen, unter ihnen die bekannten Systeme Sirius, Procyon,  $\alpha$  Centauri, 70 Ophiuchi, Krüger 60 usw. Die größte Masse (3,3) hat darin Sirius, die kleinste (0,45) Krüger 60 und im Mittel ergibt sich 1,76. Inzwischen sind zwei neue, wesentlich umfangreichere Tabellen erschienen, von denen leider die eine durch Rechenfehler so entstellt ist, daß sie vollkommen unbrauchbar ist. Das Sproul Observatory hat speziell die Bestimmung der Entfernungen von Doppelsternen auf sein Programm gesetzt. In A. J. Nr. 807 teilen Miller und Pitman (*The masses of visual binary stars*) einiges über die Ergebnisse mit. Sie haben zunächst den Einfluß untersucht, den die Bahnbewegung auf die Bestimmung der Parallaxe eventuell haben kann. Die fraglichen Doppelsterne erscheinen auf den photographischen Aufnahmen des benutzten Instrumentes nicht getrennt, das Auge vermag auch keine Asymmetrie des Sternbildes zu erkennen. Trotzdem wäre es möglich, daß eine Verlagerung des Lichtschwerpunktes während der Beobachtungsepochen durch die Bewegung der Komponenten einträte. Eine Berücksichtigung dieses Umstandes in der Auswertung ergab gegenüber deren Vernachlässigung in 9 Fällen eine Änderung der Parallaxe um 0",000 bzw. 0",001, in einem Fall um 0",002, in einem dritten um 0",004, in letzten schließlich um 0",009. Im allgemeinen ist also der Einfluß verschwindend klein. Auch bezüglich der Genauigkeit der Messungen ergab sich kein Unterschied zwischen Doppelsternen und einfachen Sternen.

Den größten Teil des Aufsatzes nimmt eine Tabelle von 68 Sternen ein, deren Massen und absolute Helligkeiten aus den bekannten Parallaxen abgeleitet wurden. Dies ist die oben als völlig unbrauchbar bezeichnete Tabelle. Man überzeugt sich davon sofort, wenn man bedenkt, daß die mit zwei verschiedenen Annahmen über die Parallaxen eines Doppelsternsystems ( $\pi$  und  $\pi'$ ) gerechneten Massen ( $m$  und  $m'$ ) der Bedingung genügen müssen  $m/m' = (\pi/\pi')^3$ . In der genannten Tabelle sind fast durchweg zwei Werte für  $\pi$  angenommen, indem die von Adams auf spektroskopischem Wege gefundenen Zahlen getrennt von den anderen aufgeführt werden. Infolgedessen sind auch die in Tabelle II nach Spektraltypen getrennten Mittelwerte falsch.

Eine Zusammenstellung ohne Kommentar gibt Meyermann in den Astr. Nachr. Nr. 5175: *Die Massen von 59 Doppelsternen*. Er führt außer der Massensumme  $m_1 + m_2$  auch jeweils die Einzelmassen an, die sich berechnen lassen, wenn bei der Untersuchung der Bahnbewegung auch das Massenverhältnis  $m_1/m_2$  abgeleitet wurde. Die Massensummen variieren von

0,5 bis 12,2 (bzw. 6,6, wenn man von  $\beta$  80 absieht, dessen Parallaxe sicher zu klein angenommen ist und von  $M$ . in einem späteren Aufsatz auch verdoppelt wird). Als Mittelwerte findet man:

$$m_1 + m_2 = 2,6; m_1 = 1,4; m_2 = 1,2$$

Diese Mittelwerte sind vermutlich noch etwas zu groß, denn bei genauerer Betrachtung der Tabelle sieht man leicht, daß die großen Werte von  $m_1 + m_2$  fast durchweg bei kleinen Parallaxen vorkommen. Da aber die Parallaxe mit der 3. Potenz in die Masse eingeht, bewirkt eine kleine Änderung von  $\pi$  schon starke Änderungen der Masse. Von Sternen mit  $\pi > 0",075$  hat nur einer eine Masse  $> 3,0$ , dagegen 13 eine solche  $< 3,0$ . Von Sternen mit  $\pi < 0",075$  haben 16 ein  $m_1 + m_2 > 3,0$  und 29 ein  $m_1 + m_2 < 3,0$ , und es bedürfte nur einer durchschnittlichen Vergrößerung der Parallaxen dieser 16 Sterne um etwa 20 %, um alle Massen unter 3,0 herabzudrücken.

In Astr. Nachr. Nr. 5180 untersucht Meyermann noch die *Abhängigkeit der Geschwindigkeit der Sterne von ihrer Masse*. Dazu benutzt er 48 der obigen Doppelsterne, deren Eigenbewegungen bekannt sind. Getrennt nach großen und kleinen Massen findet er (wegen Sonnenbewegung korrigiert):

mittl. Masse 3,7: mittl. Geschw. 19,8 km/sec (19 Sterne)

" " 1,2 " " 25,4 " (39 " )

Von 15 Sternen kennt man auch die Radialbewegung und kann damit die Totalgeschwindigkeit berechnen. Es findet sich:

mittl. Masse 4,0: mittl. Totalgeschw. 23,5 km/sec (8 Sterne)

" " 1,4 " " 33,7 " (7 " )

Die Abhängigkeit der Massen vom Spektraltypus gibt sich in den folgenden Zahlen für die mittleren Massen der einzelnen Typen zu erkennen:

|         |         |
|---------|---------|
| A : 2,5 | K : 0,7 |
| F : 1,6 | M : 0,4 |
| G : 0,8 |         |

**Die Entfernung der Magellanschen Wolke.** In Harvard Bulletin 775 teilt Shapley eine Liste von sieben schwachen Nebeln mit, die auf Grund von Aufnahmen mit dem Bruce-Teleskop in Arequipa als kugelförmige Sternhaufen erkannt wurden. Die scheinbaren Durchmesser dieser Haufen betragen nur 1',1 bis 2',6. Im Rahmen der Shapleyschen Arbeiten über die Kugelhaufen ist es möglich, auf Grund dieser scheinbaren Durchmesser genäherte Werte für die Entfernungen abzuleiten. Dazu benutzt Shapley fünf der neu entdeckten Haufen, die eng beisammen im nördlichen Teile der Magellanschen Wolke liegen und von ihm als Teile dieser Wolke betrachtet werden. Bei einem mittleren scheinbaren Durchmesser von 1',8 ergibt sich dann eine Parallaxe von 0",000 029, entsprechend einer Entfernung von 110 000 Lichtjahren. Der gesamte scheinbare Durchmesser der Magellanschen Wolke beträgt  $7\frac{1}{2}^\circ$ , woraus sich mit obiger Entfernung ein wahrer Durchmesser von 15 000 Lichtjahren errechnet. Die Magellansche Wolke wäre demnach ein Bestandteil des größeren galaktischen Systems im Sinne Shapleys und dem bisher als „Milchstraßensystem“ bezeichneten Gebilde — dessen größter Durchmesser von der Ordnung 20- bis 30 000 Lichtjahre ist — koordiniert. Ob aber Shapleys Schlußfolgerung, daß „aus dem angegebenen Werte

für die Entfernung folgt, daß in der Großen Magellanischen Wolke eine große Anzahl von Sternen mit absoluten Helligkeiten größer als  $-5$  vorhanden sind; von den Gegnern seiner Anschauungen nicht gerade umgekehrt dahin ausgelegt wird, daß eben die gefundenen Entfernungen zu groß sind?

**Die Reduktion der trigonometrisch beobachteten relativen Parallaxen auf absolute Parallaxen** erfordert die Kenntnis der mittleren Parallaxen der Vergleichsterne. In den photographischen Parallaxenbestimmungen der letzten Jahre an den amerikanischen Sternwarten wurden Vergleichsterne von etwa 9. bis 10. Größe gewählt (mit Ausnahme der Arbeiten von *Maanens*, der bis zur 13. Größe geht) und als mittlere Parallaxen dieser Sterne Werte zwischen  $0'',003$  und  $0'',005$  angesetzt. *Burns* versucht in einem Aufsatz „On mean relative and absolute parallaxes“ (Proc. Am. Phil. Soc. LX, Nr. 4) auf anderem als dem gewöhnlich eingeschlagenen Wege zu zuverlässigen Werten für diese Reduktionen zu gelangen und findet, um das Resultat gleich vorwzunehmen, ungefähr doppelt so große Zahlen:  $0'',010$ , mindestens aber  $0'',007$ . Die Ableitung erfolgt in zwei Schritten: es werden zuerst die mittleren absoluten Parallaxen der Sterne heller als 6,0 aus den mittleren Eigenbewegungen und Radialbewegungen berechnet und diese dann mit den mittleren relativen Parallaxen verglichen, wie sie aus den trigonometrischen Bestimmungen sich ergeben.

Die gewöhnliche Methode der Berechnung mittlerer Parallaxen benutzt meist nur die sog.  $\tau$ -Komponente der EB. Durch den bekannten Apex und den Stern wird ein größter Kreis gelegt und die EB in zwei Komponenten aufgespalten: die  $v$ -Komponente in der Richtung des größten Kreises setzt sich zusammen aus dem Effekt der Sonnenbewegung und einem Teil der Spezialbewegung des Sternes, die  $\tau$ -Komponente senkrecht zum größten Kreise ist frei von der Sonnenbewegung. Im Mittel aus einer großen Anzahl von über den ganzen Himmel verteilten Sternen wird man die Annahme machen können, daß die von der Sonnenbewegung unabhängige Komponente der EB (in km/sec umgerechnet:  $4,74 \frac{\tau''}{\pi''}$ , wo  $\pi$  die Parallaxe) gleich der ebenfalls von der Sonnenbewegung befreiten Radialbewegung  $V_r$  sei. Das gibt eine Gleichung zur Bestimmung von  $\pi$ .

Man kann nun aber auch die gesamte EB. benutzen. Statistische Betrachtungen ergeben, daß im Mittel, d. h. bei zufälliger Verteilung der Bewegungsrichtungen

$$V_m = 1,57 V_r$$

ist, wo  $V_m$  die Bewegung senkrecht zur Gesichtslinie ist,  $V_r$  die Radialbewegung. Setzt man noch für  $V_m$  seinen Wert  $4,74 \frac{\mu''}{\pi''}$  ein, wo dann  $\mu$  die EB. in Bogen Sekunden ist, so hat man:

$$\pi'' = 3,02 \frac{\mu''}{V_r}$$

Man hat noch zu beachten, daß der Mittelwert des Quotienten  $\frac{\mu}{V}$  nicht gleich dem Quotienten der Mittelwerte von  $\mu$  und  $V$  ist. Unter Annahme einer reinen Fehlerkurve für  $\mu$  und  $V$  kann man setzen:

$$\left(\frac{\mu}{V}\right) = 1,18 \frac{\bar{\mu}''}{\bar{V}_r}$$

und hat dann:

$$\pi'' = 3,56 \frac{\bar{\mu}''}{\bar{V}_r}$$

Das ist die von *Burns* benutzte Formel zur Berechnung von  $\pi$ , die folgende Zahlen ergibt:

| Spektralklasse | Burns     |        | Campbell  |        |
|----------------|-----------|--------|-----------|--------|
|                | $\pi$     | Anzahl | $\pi$     | Anzahl |
| B — B 5.....   | $0'',005$ | 195    | $0'',006$ | 312    |
| B 8 — A.....   | 13        | 430    | 14        | 262    |
| F.....         | 37        | 168    | 35        | 180    |
| G.....         | 25        | 155    | 22        | 118    |
| K.....         | 15        | 405    | 15        | 346    |
| M.....         | 8         | 78     | 11        | 71     |

Zum Vergleich sind die von *Campbell* aus den  $\tau$ -Komponenten gefundenen Werte angeführt, die gute Übereinstimmung zeigen. *Burns'* Methode hat den Vorzug, daß sie weniger Arbeit erfordert.

Der zweite Schritt besteht nun darin, daß *Burns* aus den bekannten Parallaxenlisten für die entsprechenden Sternklassen die mittleren relativen Parallaxen berechnet durch einfache Mittelbildung. Es ergeben sich die folgenden Werte mit ihren Differenzen gegen die oben berechneten mittleren Parallaxen:

| Spektralklasse | Mittl. rel. $\pi$ | Beob. — Rechn. | Anzahl |
|----------------|-------------------|----------------|--------|
| B — B 7.....   | $-0'',006$        | $-0'',011$     | 18     |
| B 8 — A.....   | + 39              | + 12           | 49     |
| F.....         | + 49              | + 18           | 58     |
| G.....         | + 32              | + 12           | 45     |
| K.....         | + 30              | + 8            | 85     |
| M.....         | + 12              | + 9            | 11     |

Die unter Beob.-Rechn. stehenden Zahlen wären, mit umgekehrten Vorzeichen, als absolute Parallaxen der Vergleichsterne anzusehen. Ihr Mittelwert ist, ohne den Typus F,  $0'',010$ . Einige andere Abschätzungen geben als untere Grenze für diese Parallaxe  $0'',009$  bzw.  $0'',007$ , jedenfalls durchweg größere Werte als bisher angenommen ( $0'',003$  bis  $0'',005$ ). Zwar ist sich *Burns* der Unzulänglichkeit der Zusammenstellung bewußt, die, soll sie wirklich verbindlich sein, auf die Helligkeiten im einzelnen Rücksicht nehmen und die mittleren Helligkeiten der einzelnen Gruppen mit in Betracht ziehen müßte, aber er glaubt sich doch zu dem Schluß berechtigt, daß eine endgültige Behandlung des Problems keine kleineren mittleren Parallaxen für die Sterne der 9. bis 10. Größe als  $0'',007$  ergeben werde. Ob bei dem heutigen Stande der Parallaxenmessungen sein Vorschlag, daß man in den nächsten Jahren systematisch die Parallaxen der Sterne der 6,5. bis 9. Größe relativ zu denen der 13. Größe festlegen solle, bereits durchführbar ist, muß dahingestellt bleiben. Handelt es sich doch dabei um Parallaxen, die im allgemeinen von der Größe der Beobachtungsfehler sind.

Kienle.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von

ARNOLD BERLINER

Unter besonderer Mitwirkung von H. BRAUS in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

JAN 10 1924

Heft 50. (Seite 1065—1088.)

15. Dezember 1922.

Zehnter Jahrgang.

## INHALT:

Die anatomischen Vorschriften für den bildenden Künstler in Leonardo da Vincis Traktat von der Malerei. Von C. Elze, Rostock. S. 1065.

Die biochemische Bedeutung der organischen Quecksilberverbindungen. Von W. Schoeller, Freiburg i. Br. S. 1071.

Das Aufreißen von kaltgereckten Kupferlegierungen. Von G. Masing, Berlin. S. 1079.

### Besprechungen:

Eucken, Arnold, Grundriß der physikalischen Chemie. Von Emil Baur, Zürich. S. 1083.  
Ebert, H., Lehrbuch der Physik. Von R. Pohl, Göttingen. S. 1084.

Astronomische Mitteilungen: S. 1085—1088.

Die Massen und Dichten der Sterne. Über die Häufigkeit des Vorkommens von Sternen verschiedener Masse.

Als Ergänzung zu den „Naturwissenschaften“ erscheint demnächst

## Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften

Herausgegeben von der Schriftleitung der Naturwissenschaften

Der erste Band umfaßt etwa 30 Bogen in Lexikonformat und wird den Beziehern der „Naturwissenschaften“ zu einem Vorzugspreise geliefert.

### Der erste Band enthält die folgenden Arbeiten:

Die Fortschritte der Astronomie im Jahre 1921, von Dr. R. Prager, Neubabelsberg.

Relativitätstheorie, v. Professor Dr. Hans Thirring, Wien.

Statistische Mechanik, von Professor Dr. Paul Hertz, Göttingen.

Neuere Untersuchungen über kritische Zustände rasch umlaufender Wellen, von Professor Dr. R. Grammel, Stuttgart. Mit 15 Abbildungen.

Der Nernstsche Wärmesatz, von Professor Dr. A. Eucken, Breslau. Mit 2 Abbildungen.

Wärmestrahlung, von Dr. F. Henning, Berlin-Lichterfelde.

Kontaktpotential, von Professor Dr. Alfred Coehn, Göttingen.

Chemische Kinetik, von Professor Dr. Max Bodenstein, Hannover.

Photochemie, von Professor Dr. Max Bodenstein, Hannover.

Wandlungen der Theorie der elektrolytischen Dissoziation, von Oberregierungsrat Dr. Friedrich Auerbach, Berlin. Mit 1 Abbildung.

Röntgenstrahlenspektroskopie, von Professor Dr. M. v. Laue, Berlin-Zehlendorf. Mit 1 Abbildung.

Fortschritte im Bereich der Kristallstruktur, von Professor Dr. A. Johnsen, Berlin.

Fortschritte der Atom- und Spektraltheorie, von Dr. Gregor Wentzel, München. Mit 3 Abbildungen.

Stand der Theorie der Bandenspektren, von Professor Dr. A. Kratzer, Münster. Mit 4 Abbildungen.

Lichtelektrische Wirkung und Photolumineszenz, von Professor Dr. Peter Pringsheim, Berlin.

Das periodische System der chemischen Elemente, von Professor Dr. Fritz Paneth, Berlin. Mit 10 Abbildungen.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagsbuchhandlung zum Preise von M. 250.— für das Vierteljahr bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 25.—.

Sollte die im Druck- und Papiergewerbe auch weiterhin fortschreitende Teuerung, deren Ende heute noch nicht abzusehen ist, eine abermalige Erhöhung des Bezugspreises innerhalb des 4. Quartals 1922 notwendig machen, so muß sich der Verlag schon heute eine entsprechende Nachberechnung vorbehalten.

Anzeigen für das Inland werden zum Preise von M. 86.— für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich 6 18 26 52 maliger Wiederholung  
5 10 20 90% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Telegrammadresse: Springerbuch.

Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C

Postcheck: für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20220 Julius Springer,  
Konten für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 22893 Julius Springer.

## In Oesterreich, Ungarn und Tschechoslowakei

können die „Naturwissenschaften“ ab 1. Januar 1923 durch die Postämter nicht mehr bezogen werden. Der Bezug kann nur erfolgen:

1. Durch jede Buchhandlung
2. Direkt vom Verlag.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

### Voigt & Hochgesang Göttingen

Fabrik f. Dünnschliffe,  
Kristallpräparate von  
eigenem, sowie von  
geliefertem Material.

(260)

Schul- und Studiensammlungen von ersten  
Fachleuten der Wissenschaft zusammengestellt.  
Kataloge stehen kostenfrei zur Verfügung.

### Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Test-  
platten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur.  
Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsamm-  
lung mit Textheft und mit Angaben über wei-  
tere Kataloge usw.

J. D. Möller, Wedel in Holstein.  
Gegründet 1864. (294)

### Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu kaufen gesucht. Angebote unter  
Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Soeben erschien:

### Praktikum der Gewebepflege oder Explantation besonders der Gewebezüchtung

Von

Dr. phil. Rhoda Erdmann

Privatdozent der philosophischen Fakultät an der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

Mit 101 Textabbildungen

1922

G. Z. 4,5

Die Grundzahl (G. Z.) entspricht dem ungefährem Vorkriegspreis und ergibt mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.



## Die anatomischen Vorschriften für den bildenden Künstler in Leonardo da Vincis Traktat von der Malerei.

Nach einem Vortrag.

Von C. Elze, Rostock.

*Leonardo da Vinci* war ein ausgezeichnete Kenner der Anatomie. Anfänglich hat er anatomische Skizzen nach den Texten der Anatomiebücher, soweit man davon überhaupt zu jener Zeit sprechen kann, entworfen, dann aber bald begonnen, selbst Leichen zu zergliedern und die selbstgefertigten Präparate in bildlichen Darstellungen festzuhalten. Mehr als 20 Jahre lang, etwa von seinem 40. bis 60. Lebensjahre hat er solche anatomischen Präparationen geübt und mit wachsender Technik und Einsicht immer vollkommenere anatomische Zeichnungen von allen Teilen des Körpers anfertigen können<sup>1)</sup>, so daß wir in ihm ohne Zweifel den weitaus besten Kenner der Anatomie in der Zeit um die Wende des 15. und 16. Jahrhunderts erblicken müssen. Dicke Bündel von Blättern mit Skizzen und Aufzeichnungen haben sich aufgehäuft, ganz im Verborgenen. Für die Wissenschaft sind diese Ergebnisse ernstester Arbeit ohne Frucht geblieben, denn nie hat *Leonardo* etwas davon veröffentlicht, und erst ein Menschenalter später ist, sicher ganz unabhängig von ihm, die wissenschaftliche Anatomie durch *Andreas Vesalius* auf Grund neuer eigener Untersuchungen begründet worden.

Es wäre gewiß eine reizvolle Aufgabe, die Anatomie *Leonardos* gegenüberzustellen auf der einen Seite derjenigen *Galens* und der Araber sowie den ersten, noch ganz im Banne *Galens* stehenden anatomischen Versuchen des ausgehenden Mittelalters, auf der anderen Seite derjenigen *Vesals*, also ihre Stellung zu untersuchen gegenüber jahrhundertaltem Dogma und gegenüber der Renaissance, die freilich auf dem Gebiete der Anatomie eine Neugeburt ist und nicht eine Wiedergeburt. Aber das würde zu tief in das dem Fremdling unwegsame Dickicht strenger Fachgelehrsamkeit führen. Denn mit seinen anatomischen Unternehmungen hat *Leonardo* in erster Linie wissenschaftliche Ziele verfolgt. Wie er seiner ganzen Eigenart nach alles mit den Augen des Forschers und des Künstlers zugleich betrachtet, so auch die Anatomie, die ihn naturgemäß besonders zu dieser Doppelbetrachtung reizt. Seine Aufzeichnungen darüber sind aber ganz getrennt. Die einen finden sich in den

anatomischen Notizen, die anderen anderwärts: sie sind später zum größten Teile übernommen worden in die Zusammenstellung, die als „Traktat von der Malerei“<sup>2)</sup> bezeichnet wird.

Dieser Traktat ist nicht das, was sein Titel vermuten läßt, ein fertiges Buch von *Leonardos* Hand. Sicher hat er die Absicht gehabt, eines zu schreiben. 1498 soll sogar eines fertig gewesen sein, über dessen Umfang und Inhalt wir freilich gar nichts wissen. Sicher hat er auch den Plan gehabt, ein Buch über die Proportionen und die Bewegungen, wohl auch eins über die Anatomie des Menschen zu schreiben, wie man aus einer Anzahl von Hinweisen entnehmen könnte. Aber wirklich geschrieben hat er keins von allen, wie er ja überhaupt kaum irgendeinen seiner zahlreichen großartigen Pläne und Entwürfe durchgeführt hat. Was als „Traktat von der Malerei“ unter seinem Namen geht, ist eine Auswahl von einzelnen Notizen, die Schüler und Freunde *Leonardos* nicht lange nach seinem Tode aus 18 hinterlassenen Notizbänden zusammengestellt haben. So wenigstens in der vollständigsten von verschiedenen uns erhaltenen solchen Zusammenstellungen, in einem vatikanischen Codex aus der Mitte des 16. Jahrhunderts. Ohne eigentliche Ordnung, mit zahllosen Wiederholungen, ohne jede Durcharbeitung stehen fast 1000 kurze Aufzeichnungen nebeneinander über die Beziehungen der Malerei zu anderen Künsten, über die Persönlichkeit und die Arbeitsweise des Malers, über Perspektive, über Schatten, Licht und Farben, über Wolken und Horizont, über Bäume und grüne Gewächse. Dazwischen finden sich die Notizen für das geplante Buch über die Proportionen und die Bewegungen. Von seinen eigentlichen anatomischen Studien und Zeichnungen ist nichts darin enthalten.

Erfahren wir also aus dem Traktat nichts über Einzelergebnisse von *Leonardos* anatomischen Studien, so verraten uns doch, selbst wenn wir es aus den im Laufe der Zeit erfolgten vollständigen Veröffentlichungen nicht wüßten, die Sätze über die Proportionen und über die Be-

<sup>2)</sup> Den Ausführungen ist die deutsche Ausgabe von H. Ludwig zugrunde gelegt: *Leonardo da Vinci, Das Buch von der Malerei*. Quellenschr. f. Kunstgesch., hrsg. v. R. Eitelberger von Edelberg, XVIII. Wien 1882. Diese Übersetzung wurde neu herausgegeben von Marie Herzfeld: *Leon. d. V., Traktat von der Malerei*. Jena 1909.

Auf die Wiedergabe der in dem Vortrage vorgeführten Kunstwerke muß hier verzichtet werden. Soweit es sich um Werke *Leonardos* handelt, findet man sie in: W. v. Seidlitz, *Leon. d. V.*, Berlin 1909; Eug. Müntz, *Leon. d. V.*, London 1898; P. Müller-Walde, *Leon. d. V.*, München 1889.

<sup>1)</sup> Näheres bei Holl, *Arch. f. Anat. (u. Phys.)* Jg. 1914 u. 1917.

wegungen allenthalben den geschulten Blick des Naturforschers, nicht nur des Künstlers. Ich sage absichtlich Naturforschers und nicht Anatomen, einmal weil *Leonardo* wirklich Naturforscher im weitesten Sinne des Wortes war, sich ebenso mit physikalischen, botanischen, geologisch-paläontologischen Problemen beschäftigt hat wie mit anatomisch-physiologischen, und dann, weil gar zu leicht mit dem Worte Anatomie der Begriff der Leiche, des Toten verbunden wird. Nichts aber ist für *Leonardos* Art, die Anatomie zu treiben, charakteristischer als das Bestreben, stets beim Lebendigen zu bleiben, das lebendige Ganze aus den zusammensetzenden Teilen zu begreifen.

So, wenn er sich mit den Proportionen des menschlichen Körpers beschäftigt. Wohl nimmt er gelegentlich mathematische Figuren und Konstruktionen zu Hilfe, um über die gegenseitigen Größenverhältnisse etwa der Teile des Gesichtes ins Klare zu kommen, aber er bleibt fern davon, sich, wie etwa *Dürer*, zu vergrübeln in trockene, leblose mathematische Formulierungen. Der lebendige Körper ist Gegenstand seiner Betrachtung, nicht ein abstrahiertes Schema, vor dem er ausdrücklich warnt. Daher greift er weniger zu Zirkel und Lineal, zu der starren Methode des Messens, als zu lebendigen Massen und ihren Gegenwerten am Körper. Also z. B.: „Hinsichtlich der Längenmaße von einem Gelenk zum anderen finde ich einen großen Unterschied zwischen Männern und Kindern. Denn der Mann hat vom Schultergelenk zum Ellenbogen, vom Ellenbogen zur Daumenspitze, von einem Schultergelenkknochen zum anderen jedesmal zwei Kopflängen, das Kind aber für jedes dieser Stücke nur eine. Denn die Natur bildet eher die Behausung des Intellektes zu ihrer Größe heran als die der sinnlichen Lebensgeister.“ (Nr. 264.)

Bezieht sich eine Anzahl ähnlicher Notizen auf das gegenseitige Verhältnis der Längen bestimmter Körperteile, wobei, wie man sieht, zugleich auf allerlei biologische Momente Rücksicht genommen wird, so handeln andere von dem allgemeinen Charakter der Glieder. Neben der Proportion der Quantitäten steht als nicht minder wichtig die der Qualitäten: „Ich will sagen, daß du nicht ein Bein oder einen Arm oder andere Gliedmaßen von einem Schlanken abzeichnest und sie einem, der dick und breit von Brust und Hals ist, anheftest. Und menge nicht Gliedmaßen von Jungen mit solchen von Alten durcheinander, oder nicht kraftstrotzende und muskulöse mit feinen und schwächlichen, oder gar Männer mit Weibergliedmaßen“ (268). „Bei der Jugend dürfen die Gliedmaßen keine scharf ausgeprägten Muskeln haben; denn diese sind das Zeichen gezeitiger Stärke, und junge Bürschlein haben weder viel Zeit hinter sich, noch ist reife Kraft in ihnen“ (307). In dieser Art werden eine Reihe qualitativer Proportionen erörtert, dazu

ihre Veränderungen bei den Bewegungen der Gelenke.

Seine eigentlichen anatomischen Studien treibt er keineswegs nur an der Leiche. Gerade am lebenden Menschen untersucht er die Einzelheiten des Skeletts und der Muskulatur, besonders an alten Männern, deren schlaffe Haut die unter ihr liegenden Teile deutlich hervortreten läßt, oftmals fast so deutlich wie ein anatomisches Präparat<sup>3)</sup>. Bei den Bewegungen solcher alter Männer ist ihm aufgefallen, daß bei manchen Muskeln während der Tätigkeit einzelne Teile als deutliche Stränge hervortreten, wodurch das Ganze des Muskels eine Art natürlicher Zergliederung und Unterteilung erfährt. Diese Beobachtung ist die Grundlage für seine besondere Art der Darstellung der Muskeln durch Drähte gewesen, durch welche nur die funktionell wichtigsten Teile der Muskeln versinnbildlicht werden. Die Wirkungsmöglichkeiten von Muskeln, welche mit ihren verschiedenen Bestandteilen verschiedene Bewegungen hervorrufen, sind auf diese Weise leichter zu übersehen<sup>4)</sup>.

Alle anatomischen Präparationen treibt er nicht um ihrer selbst willen, sondern um Einsicht zu gewinnen in die Bau- und Wirkungsweisen des Ganzen. Mit jeder Beobachtung verknüpft sich für ihn die Frage nach der Bedeutung, der Funktion sowie nach dem Grunde der besonderen Art der Konstruktion. Was seine anatomischen Untersuchungen besonders auszeichnet, ist ihre Unmittelbarkeit: sie sind durchaus nur auf eigene Anschauung, eigene Präparation gegründet, ohne die Fessel der Tradition, durch welche im Gegensatz zu ihm auch *Vesal* trotz aller Freiheit in seiner Forschung noch gebunden ist. *Leonardo* hat keine Universität besucht und geht ohne Vorurteil an die Dinge heran, obwohl er sicherlich manches Werk, auch anatomischen Inhaltes, studiert hat. Wäre dies nicht anderweitig belegt, so ginge es daraus hervor, daß er die Muskeln des Unterarmes in „domestici“ und „silvestres“ unterscheidet (277), eine typische, von den Herausgebern des Traktates sichtlich vollkommen mißverständene Ausdrucksweise der lateinischen Übersetzer des Canon medicinae des arabischen Arztes *Avicenna*<sup>5)</sup>. Auch die Bemerkung, daß die Sesambeine am Grundgelenk der großen Zehe gegen das Alter hin sehr hart werden (309), geht wohl sicher auf die Lektüre älterer Schriften zurück, und vielleicht hat er auch einmal von dem Ossiculum Luz und dem Os resurrectionis gelesen<sup>6)</sup>.

<sup>3)</sup> Vgl. sein Gemälde „Der Hl. Hieronymus“.

<sup>4)</sup> Dieser Entwicklungsgang scheint mir unzweideutig aus dem von *Choulant*, Gesch. d. anat. Abbildung, Leipzig 1852, wiedergegebenen Blatte hervorzugehen. Die Faksimileausgaben von *L.s* anatomischen Aufzeichnungen standen mir nur zum Teil zur Verfügung.

<sup>5)</sup> S. *Hyrtl*, Das Arabische und Hebräische in der Anatomie, Wien 1879, § LIV.

<sup>6)</sup> Ebenda § LXXIII.



Von den Einzelergebnissen seiner anatomischen Studien enthält der Traktat von der Malerei, wie schon erwähnt, nichts. Es ist möglich, daß *Leonardo* die Absicht gehabt hat, sie gerade für das Malerbuch zusammenzufassen und niederzuschreiben. Aus Andeutungen eines solchen Planes könnte man das schließen. Wie er sich die Behandlung der Anatomie etwa dachte, geht aus der einzigen im Traktat enthaltenen wirklich anatomischen Notiz hervor, auf welche er in einer Aufzeichnung „vom Breiter- und Kürzerwerden der Muskeln“ mit den Worten hinweist: „so sollen sie (die Muskeln) alle zur Sprache kommen“ (285). Die Notiz ist zugleich sehr charakteristisch für die doppelte und doch einheitliche Betrachtungsweise des Naturforschers und des Künstlers *Leonardo* (286):

„In der Gegend des Granatapfels<sup>7)</sup> beginnt ein Muskel und endigt am Schamhügel, der hat dreigeteilte Kraft; denn er ist in seiner Länge durch drei Sehnen geteilt. Zuerst kommt der obere Muskel, dann folgt eine Sehne, so breit wie er; danach, tiefer herunter, kommt der zweite Muskel, an welchen sich die zweite Sehne anschließt; endlich kommt der dritte Muskel mit der dritten Sehne, welche letztere am Schambein ansitzt. — Und dieses dreifache Neuansetzen von drei Muskeln mit drei Sehnen ist von der Natur gemacht wegen der außerordentlich großen Bewegung, die der Mensch beim Sichbiegen und Wiedergradestrecken mit diesem Muskel macht. Wäre derselbe aus einem Stück, dann würde die Veränderung, die er von jenem Einbiegen bis zur Streckung des Menschen zwischen seiner äußersten Ausdehnung und Zusammenziehung durchmacht, zu groß für ihn sein, und es gereicht dem menschlichen Körper zu größerer Schönheit, wenn dieser Muskel bei seiner Aktion sich wenig verändert, nämlich: der Muskel hat sich um neun Fingerbreiten zu strecken und nachher um ebenso viele zusammenzuziehen; durch seine Dreiteilung kommen aber hierbei auf jeden Muskel(-teil) nur drei Fingerbreiten, und so verändert sich ein jeder von ihnen nur wenig in seiner Figur und entsteht auch die Schönheit des Körpers wenig.“

Der Plan, in dieser Art die anatomischen Einzelheiten darzustellen, ist freilich nur Plan geblieben. Dafür finden wir im Traktat eine Quintessenz aus anatomischen Studien an der Leiche und Beobachtung des Lebenden, und zwar in den Abschnitten, welche von Stellung und Bewegung der Figur handeln und einen immerhin sehr beträchtlichen Raum im Gesamtwerk einnehmen<sup>8)</sup>.

Wollen wir dieser Lehre von den Bewegungen

<sup>7)</sup> Arabistischer Ausdruck für den Schwertfortsatz am unteren Ende des Brustbeins. Die ungenaue Schilderung stammt offenbar aus der Anfangszeit von *L.s* anatomischen Studien.

<sup>8)</sup> Die Lehre von den Bewegungen ist besonders behandelt worden von *H. Klaiber* in seinen „Leonardo-Studien“, Zur Kunstgesch. d. Auslands, H. 56, Straßburg 1907.

voll gerecht werden, so müssen wir uns vor Augen halten, wie außerordentlich schwierig, ja für den Ungeschulten geradezu unmöglich es ist, das Wesentliche einer Haltung oder Bewegung in knappe Worte zu fassen. Wohl wird es uns leicht, Haltung und Bewegung zu deuten, die „Absicht der Seele“, wie *Leonardo* sagt, zu erkennen, aber über das Charakteristische der gegebenen Haltung oder Bewegung im Gegensatz zu einer anderen vermögen wir uns für gewöhnlich nicht Rechenschaft zu geben. *Leonardo* hat denn auch selbst das Bedürfnis empfunden, einer Reihe seiner Sätze kleine, möglichst lebendige Figürchen zur Erleichterung des Verständnisses beifügen zu müssen.

Der Lehre von Stellung und Bewegung der Figur können wir zwei Grundgedanken unterlegen: einen anatomisch-physiologischen und einen künstlerischen. „Ein guter Maler hat zwei Hauptsachen zu malen, nämlich den Menschen und die Absicht seiner Seele“, d. h. die *Physis* und die *Psyche*. Die anatomisch-physiologischen Bemerkungen gehen aus einmal von dem Prinzip des Gleichgewichtes der Körpermassen und weiterhin von der grundlegenden, aber allzuoft vernachlässigten Tatsache, daß eine Bewegung nur dann zustande kommen kann, wenn die einen Muskeln sich zusammenziehen, die anderen aber entsprechend erschlaffen.

Die Gewichtsmassen des Körpers und einer etwa hinzutretenden Last sind immer zu gleichen Teilen rings um die Mittellinie des Gewichtes angeordnet (321). Beim ruhig stehenden Menschen befindet sich die Halsgrube senkrecht über dem Standfuße (317), wir können ergänzend hinzufügen, über dem inneren Knöchel, bei der Ansicht von vorn. Sehr schön sieht man das an dem in Eleusis gefundenen *Apollo* des Berliner Antiquariums<sup>9)</sup>. Bei dem ihm gegenüber aufgestellten bekannten Betenden Knaben weicht die Halsgrube nach der linken Seite ein klein wenig ab, und wir haben sofort das Gefühl, daß der Knabe nach links überfällt<sup>10)</sup>. Merkwürdigerweise haben wir für die Gewichtsverteilung ein außerordentlich feines Empfinden, ein sehr viel feineres jedenfalls als etwa für die Proportionen. Steht die Figur nur auf einem Bein, so ist stets die Schulter über dem Standbein niedriger als die über dem Spielbein (316). Wird die Gewichts-

<sup>9)</sup> Mit diesem und den folgenden Hinweisen auf Werke der antiken Plastik sündige ich an sich wider den Geist des Traktats, der die Plastik verächtlich hinter die Malerei zurückstellt. Aber die antiken Einzeldarstellungen nackter Körper sind trotzdem die sinnfälligsten Beispiele und Gegenbeispiele für *L.s* Vorschriften.

Wie der Berliner *Apollo* können ebensogut die meisten Statuen von ruhig Stehenden als Beispiel dienen, so die auf den Tafeln 43—60 des Werkes von *H. Bulle*, Der schöne Mensch im Altertum, München u. Leipzig, G. Hirth, 2. Aufl., 1912.

<sup>10)</sup> Die Statue wird sicherlich nicht ohne Absicht gewöhnlich etwas schräg von vorn aufgenommen, so daß dieser Haltungsfehler verdeckt wird.

verteilung geändert, z. B. durch Heben eines Armes, so muß, was man am deutlichsten bei den Seiltänzern sieht (318), der ganze Körper eine entsprechende Bewegung machen, um das gestörte Gleichgewicht wiederherzustellen. Als Anhaltspunkt für die Beurteilung der Gewichtsverteilung dient der Nabel: „Der Nabel liegt stets in der Mittellinie des Gewichtes, das sich von ihm aufwärts befindet, und so führt er Rechnung sowohl über die zufällige Last des Menschen als über dessen eigene Gewichtsverteilung. Dies zeigt sich beim Ausstrecken des Armes. Hier vertritt die Faust an dessen Ende die Stelle, die man den Gewichtsstein am Ende des Wagebalkens bekleben sieht. Daher wirft man mit Notwendigkeit so viel Gewicht auf der anderen Seite vom Nabel aus, als das zufällige Gewicht der Faust ausmacht. Und den Absatz auf jener Seite muß man heben“ (319).

Eine kleine Skizze ist zur Erläuterung beigefügt. Dasselbe zeigt ganz besonders schön der Hermes von Antikythera. Ein typisches Gegenbeispiel liefert uns die Mittelfigur des Westgiebels vom Zeusaltar in Olympia: sie hat den rechten Arm horizontal erhoben, der Oberkörper aber ist nicht nach der entgegengesetzten Seite gebogen, die Halsgrube steht noch unverändert über dem (linken) Standbein. Dadurch bekommt die ganze Haltung etwas Steifes, Unbeholfenes. Das Auslegen von Gegengewicht gilt in gleicher Weise bei Hebung eines Armes nach vorn: der Oberkörper muß dann nach rückwärts gebogen werden, sonst fällt die Figur nach vorn über (321). Dieses Gefühls können wir uns z. B. beim Apoxyomenos des Lysipp nicht ganz erwehren, ebenso bei der medicaeischen Venus und anderen Venusdarstellungen, die freilich — sonst wäre die Haltung der linken Hand sinnlos — nur auf die Ansicht von vorn berechnet sind, bei denen außerdem die leichte Beugung des Rumpfes nach vorn wohl besonders beabsichtigt ist als Geste der Schamhaftigkeit.

Die richtige Verteilung seines Gewichtes „liegt im Menschen, der bei gesunden Sinnen ist. Denn dieser trachtet von Natur stets, sich über seinen Füßen ins Gleichgewicht zu bringen, damit er nicht niederstürze“ (314). Jede Änderung des Gleichgewichtes ist Ursache einer Bewegung, und zwar einer um so größeren, je mehr das Gleichgewicht gestört wird: „Die Bewegung wird durch die Aufhebung des Gleichgewichtes hervorgerufen. Denn es bewegt sich nichts, ohne daß es aus seinem Gleichgewichte herauskommt. Und am schnellsten wird sich bewegen, was am weitesten von seiner Gleichgewichtslinie abkommt“ (325). Diese Tatsache machen sich unsere Wettläufer zunutze, indem sie beim Start sich so weit nach vorn überbeugen, daß die Fingerspitzen den Boden berühren.

Ebenso wie bei den leichten, lässigen Haltungen und Bewegungen ist die Gewichtsverteilung das Maßgebliche bei angestrengten, z. B. wenn ein

Mensch ein Gewicht auf seiner Schulter trägt: „Die Schulter des Mannes, die das Gewicht trägt, ist stets höher als die unbelastete. Dies zeigt sich an der hier in der Mitte des Blattes beigefügten Figur, durch welche die Mittellinie des gesamten Gewichtes, des Mannes und der Last, die er trägt, hingezogen ist. Dieses zusammengesetzte Gewicht würde notwendig zur Erde stürzen, wäre seine Summe nicht zu gleichen Teilen über dem Mittelpunkt des Standfußes verteilt. Aber die Notdurft sorgt dafür, daß so viel von dem natürlichen Gewicht des Mannes sich auf die eine Seite hin wirft, als die Quantität des zufälligen Gewichtes ausmacht, die auf der entgegengesetzten Seite (zum natürlichen Gewicht) hinzukam. Dies kann nun nicht geschehen, ohne daß der Mann sich auf der nicht belasteten Seite einbiegt, und also hier niedriger wird. Und zwar muß die Einbiegung so viel betragen, daß die eingebogene Seite an (der Stellung zu Gleichgewicht oder der Unterstützung) der zufälligen, vom Manne getragenen Last ihren Anteil mitbekomme. Und dies kann wieder nicht bewerkstelligt werden, wenn die lasttragende Schulter nicht in die Höhe geht und die unbelastete herab. Dies ist das Auskunftsmittel, welches die erfinderische Notdurft bei dieser Aktion entdeckte“ (323).

Hierbei handelt es sich um das, was *Leonardo* eine einfache Kraft nennt, im Gegensatz zur zusammengesetzten, bei welcher außer dem unmittelbar beteiligten Gliede der ganze Körper mit seiner Muskulatur kraftvoll unterstützend mitwirkt: „Zusammengesetzte Kraft ist, wenn man mit den Armen eine Verrichtung tut und zu deren Kraft noch eine andere fügt, nämlich die des Gewichtes der Person und (die Kraft) der Beine, wie es beim Ziehen und Schieben der Fall ist, wo außer der Armkraft auch noch das Körpergewicht und die Kraft des Rückens und der Beine mit hinzugefügt wird. Die letztere (die des Rückens und der Beine nämlich) liegt im Sichstreckenwollen; z. B. es wären zwei an einer Säule beschäftigt; der eine schiebt (oder stößt), der andere zieht an derselben“ (344). Man vergleiche dazu *Leonardos* außerordentlich lebendige kleine Skizze und die Umzeichnung *Poussins*<sup>11)</sup>, in der das Lebendige der Kraftanstrengung ganz verloren gegangen ist.

Besonderes Gewicht legt *Leonardo* auf die vorbereitende Bewegung zu einer beabsichtigten kräftigen Aktion, also etwa auf die vorbereitende Bewegung eines Mannes, der einen Speer mit großer Gewalt von sich abschleudern oder einen starken Stoß ausführen will. „Stellt sich der Mann zu einer mit Kraftäußerung verbundenen Bewegung zurecht, so biegt und dreht er sich, soviel er kann, in die entgegengesetzte Bewegung um, als in der er den Stoß führen will, und spannt sich hier

<sup>11)</sup> In der Ausgabe des Traktates von R. du Fresne, Paris 1651.



zur ganzen Kraft, die ihm erreichbar ist“ (348). In der archaischen Epoche der griechischen Kunst ist dieses Problem versucht, aber nicht gelöst worden. Der blitzschleudernde Zeus aus Dodona zeigt dies sehr deutlich. Überhaupt ist ja für die archaische Kunst die unvollkommene Beherrschung der Haltung etwas sehr Charakteristisches. Die klassische Epoche hat auch für die Bewegung des Ausholens die Lösung gefunden, am vollkommensten im Diskuswerfer des Myron.

Da *Leonardo* so großes Gewicht auf diese Bewegung legt und in einer ganzen Anzahl von Notizen in immer neuer Form davon spricht, liegt es nahe, gerade den Diskuswerfer daraufhin zu untersuchen, der in der äußersten Verdrehung des Körpers beim Ausholen dargestellt ist. Legen wir *Leonardos* Ausführungen zugrunde, so müssen wir sagen, daß diese Stellung mit großer Meisterschaft erfaßt ist, wenn wir auch nicht leugnen können, daß *Leonardo* selbst sie gewiß noch viel lebendiger hätte zu gestalten vermocht. Die Stellung ist sehr charakteristisch bezüglich der Haltung der Arme und Beine, wie bezüglich der Gewichtsverteilung. Und gerade die Haltung der Beine, besonders des linken, dessen Fuß den Boden nur eben mit den Zehenspitzen berührt, läßt uns ganz genau sagen, welche weitere Bewegung nun folgen muß. Diese Bewegung kann keinesfalls, wie in der Literatur verschiedentlich angegeben wird, der Wurf geradeaus unter Streckung und Aufrichtung des Körpers werden. Es muß unbedingt eine Drehung nach links um etwa 90 Grad erfolgen. Für die kraftvolle Bewegung nach vorn wäre der Vortritt des rechten Beines im höchsten Maße hinderlich, und die Scheibe könnte nur senkrecht geschleudert werden statt wagerecht, ein ganz unzulänglicher Wurf käme zustande. Gerade diese Drehung mit der Streckung bedingt erst die „zusammengesetzte Kraft“, auf welche *Leonardo* zur Erzielung von höchster Leistung das Hauptgewicht legt (351), und in welcher unsere Sportsleute das Wesentliche ihrer Kunst sehen.

Die Drehung des Körpers, welche dem Abwurf des Diskus voraufzugehen hat, wird besonders deutlich, wenn wir den Diskuswerfer in der Vorderansicht betrachten. Der ganze Schwung der Bewegung tritt uns hier unmittelbar vor Augen. Noch deutlicher fühlen wir hier die „Absicht der Seele“, die der Bewegung zugrunde liegt, und wir erkennen, daß diese Absicht der Seele hier vollkommen wiedergegeben ist, nicht in der Mimik des Gesichtes, welche vollkommen nichtssagend und für die Gesamtgebärde gleichgültig ist, sondern ganz und gar in der Gesamthaltung. Auch *Leonardo* legt den Hauptwert auf die Bewegung der Glieder und nicht des Gesichtes: „Ein guter Maler hat zwei Hauptsachen zu malen, nämlich den Menschen und die Absicht seiner Seele. Das erstere ist leicht, das zweite schwer; denn es muß durch die Gesten und Bewegungen der Gliedmaßen ausgedrückt werden“

(227), und diese Gesten lernt man am besten von den Taubstummen, denn „sie sind die Meister der Gestikulation“ (230). Die Absicht der Seele erkennbar zu machen, ist freilich die höchste Kunst in der Darstellung des Menschen. Die griechische Plastik bis zu ihrer Blütezeit ist die Entwicklung dieser Kunst. Als ein Zeuge aus der jüngsten Kunst diene der Holzfäller von Hodler, der in der ungeheuren Anspannung seines Körpers die Absicht seiner Bewegung mit unmittelbarer Eindringlichkeit verrät. Wir fühlen die Berechtigung von *Leonardos* Mahnung: „Die Bewegungen deiner Figuren sollen die Art von Kraftaufwand zeigen, die für die verschiedenen Aktionen passend und notwendig ist, d. h. du sollst nicht Einen, der ein Stöckchen aufhebt, den gleichen Kraftaufwand an den Tag legen lassen, der zum Aufheben eines Balkens passend sein würde. Lasse also die Figuren sich dazu anstellen, so viel Kraft zu zeigen, als der Art der von ihnen gehandhabten Last entspricht“ (346).

Dies richtige Maß von Kraftaufwand erst ist es, was bei einer angestrengten Bewegung die Absicht der Seele deutlich macht. Auch diesem schwierigen Problem ist *Leonardo* nachgegangen, und damit kommen wir zu einem der vorhin aufgestellten Leitgedanken für seine Bewegungslehre zurück, zu dem gegensätzlichen Verhalten der verschiedenen Muskelgruppen bei der Bewegung. „Ein nackter Körper, der mit großer Deutlichkeit aller seiner Muskeln dargestellt ist, ist ohne Bewegung; denn er kann sich nicht bewegen, wenn nicht ein Teil seiner Muskeln nachläßt, während die gegenüberliegenden anziehen“ (302). Deshalb: „Das Glied, das am meisten angestrengt ist, zeige seine Muskeln am meisten“, und „An der Seite, nach welcher hin ein Glied sich zu seiner Verrichtung wendet, seien auch seine Muskeln am zahlreichsten ausgesprochen“ (303).

In diesen Sätzen steckt ein gut Teil Ergebnis von *Leonardos* anatomisch-präparatorischen Studien. Sie erst haben ihm die Sicherheit in der Beobachtung des Lebenden gegeben. Die Bildhauer der klassischen Zeit in Griechenland haben sich offenbar in diesem Punkte nicht sicher gefühlt, wenigstens haben sie die Darstellung angestrebter Bewegung im allgemeinen vermieden. Auch haben sie die ruhige Oberfläche des Körpers vor der stark modellierten bevorzugt. Erst für die hellenistische Kunst wird es kennzeichnend, die Oberfläche sehr stark auszuarbeiten, ja übertrieben stark, und gewöhnlich falsch. Die den Klassikern versagte Kenntnis des anatomischen Muskelpräparates mag dazu verführt haben<sup>12)</sup>. Jedenfalls bekommen die hellenisti-

<sup>12)</sup> Im Griechenland der klassischen Zeit waren Sektionen durch religiöse Vorschriften verboten. Die ersten wurden in Alexandria im 4. Jh. v. Chr. ausgeführt. O. Körner (Münch. med. Wochenschr. 1922, Nr. 42, S. 1484) macht es jedoch wahrscheinlich, daß die in Ilias und Odyssee nachweisbaren anatomischen

schen Werke dadurch trotz aller großen Geste etwas Starres, Unlebendiges. Zahllose Beispiele aus der Malerei, Plastik und Graphik aller Zeiten ließen sich hier anführen, ich greife eines willkürlich heraus: Dürers Kopie des Frauenraubes von Pollajuolo.

Gegen solche Scheinkraft in der Körperoberfläche richtet sich *Leonardos* Regel: „Damit ein Maler bei den Stellungen und Gesten, die man im Nackten darstellen kann, sich als ein guter Gliedmaßenmacher und -zusammenordner erweisen könne, so ist es etwas sehr Notwendiges für ihn, daß er die Anatomie der Sehnen, Knochen und Muskeln kenne, damit er bei den verschiedenen Bewegungen und Kraftäußerungen wisse, welche Sehne oder Muskel der Veranlasser der Bewegung sei, und nur diese deutlich und angeschwollen mache, nicht aber alle übrigen, wie viele tun, die, um als große Zeichner zu erscheinen, ihre nackten Körper hölzern und anmutlos machen, so daß dieselben mehr wie ein Sack voll Nüsse als wie ein menschliches Äußere anzuschauen sind, oder eher wie ein Bündel Rettiche als wie muskulöse nackte Körper“ (305). Als abschreckendes Beispiel von einem namhaften Künstler sei die Kohleskizze von *Tintoretto* „Simson und die Philister“ im Berliner Kupferstichkabinett genannt.

In aller Kürze lassen sich *Leonardos* anatomische Vorschriften für den bildenden Künstler, aus deren Fülle ich nur einige wenige herausgegriffen habe, dahin zusammenfassen: Die Körper seien nach Quantität und Qualität richtig proportioniert; bei ruhiger Haltung und bei ruhiger Bewegung seien die Körpermassen im Gleichgewicht über dem Unterstützungspunkt; bei schneller und gewaltsamer Bewegung sei außer dem handelnden Gliede der ganze Körper beteiligt; dabei seien nur diejenigen Muskeln deutlich ausgeprägt, welche wirklich angestrengt werden. Nur so wird sich in der gesamten Haltung und Bewegung die Absicht der Seele kundtun, nur dann wird die Darstellung wirklich lebendig sein. „Wenn die Figuren nicht lebendige und derartige Gebärden machen, daß sie damit in ihren Gliedern die Absicht ihrer Seele ausdrücken, so sind sie doppelt tot. Erstens sind sie dies, weil die Malerei ja an sich nicht wirklich lebendig ist, sondern, selbst leblos, lebendige Dinge nur ausdrückt. Und verbindet sich also nicht die Lebhaftigkeit der Gebärde mit ihr, so ist sie zweimal tot“ (385).

In diesen Vorschriften fehlt durchaus die Betonung der anatomischen Einzelheit. Sehr zu Unrecht ist oft an Kunstwerken getadelt worden, daß sie in den anatomischen Einzelheiten nicht naturgetreu seien. Dieser Vorwurf kann ernstlich nicht erhoben werden, denn das hieße nichts anderes als den Naturalismus zum Axiom erheben

Kenntnisse nur von Leichenöffnungen her gewonnen sein können.

und alle lebendige Kunst ersticken. Und wer sollte auch Richter in dieser Frage sein? Die sichs gelegentlich angemäht haben, wären mit ihrem Latein bald am Ende, sowie sichs um nicht ganz alltägliche Dinge handelt, wie etwa bei den Darstellungen des Skelettes. Oder würden sie's wagen, *Hans Holbein* alle Fehler am Skelett in seinem Totentanz nachweisen zu wollen, und *Dürer* in seinem Blatt „Memento mori“?

*Leonardo* selbst ist bei der Theorie nicht stehen geblieben. Er vermochte als Künstler die Forderungen des Naturforschers in der Praxis zu erfüllen. Und so finden wir seine Werke, besonders seine flüchtigen Handzeichnungen mit ihrer unmittelbaren Frische, von einer Formenfülle und Lebendigkeit, wie sie kaum von einem anderen Meister erreicht worden ist. Zu einzigartiger Harmonie sind in ihm Forscher und Künstler gepaart. Der unerreichte Höhepunkt an lebendiger Darstellung muß der Carton zum Bilde der Schlacht von Anghiari gewesen sein, von dem wir leider nur Bruchstücke kennen. Sie lassen ganz und gar vergessen, daß bei der Entstehung neben dem Künstler auch ein strenger Forscher beteiligt gewesen ist.

Es ist nicht überflüssig, das zu betonen. *Leonardos* großer Nebenbuhler *Michelangelo*, welcher ebenfalls eingehend Anatomie getrieben und selber viel sezirt hat, hat es nie zum vollen Ausgleich zwischen Künstler und Anatomen gebracht: alle seine Werke verraten allzu deutlich den Kenner der Anatomie, der sich hervordrängt. Gerade den Verzicht auf die Darstellung der wohlbekannten anatomischen Einzelheit fordert *Leonardo* vom Künstler, und übt ihn selbst mit weit überragender Meisterschaft. Er hat nicht Anatomie getrieben, bloß um die einzelnen Muskeln kennen zu lernen und um an der Leiche auszuprobieren, welche äußersten Stellungen der Gliedmaßen die Gelenke allenfalls noch zulassen, wie es *Michelangelo* getan hat, worüber vor 50 Jahren mein Vorgänger im Amte *Wilhelm Henke* hier in einem Vortrage berichtet hat<sup>13)</sup>. Immer hat *Leonardo* den ganzen lebendigen Menschen auch bei seinen Zergliederungen der Leiche vor Augen gehabt. Wohl soll der Maler Anatomie treiben, denn „diejenigen, welche sich in Praxis ohne Wissenschaft verlieben, sind wie Schiffer, die ohne Steuerruder oder Kompaß zu Schiffe gehen: sie sind nie sicher, wohin sie gehen“ (53), aber die Einzelheiten der Wissenschaft dürfen den Blick für das Ganze nicht trüben: „O Maler Anatomiker, schaue zu, daß die allzu große Kenntnis der Knochen, Sehnen und Muskeln nicht Ursache werde, daß du ein hölzerner Maler seist“! (111).

Die Forderung *Leonardos*, daß der Maler sich

<sup>13)</sup> W. Henke, Die Menschen des Michelangelo im Vergleich mit der Antike, Rostock 1871, abgedruckt in seinen „Vorträgen über Plastik, Mimik und Drama“. Rostock 1892.



mit anatomischen Dingen beschäftigt, darf aber, wie wir gesehen haben, nicht eng im gewöhnlichen Sinne des Wortes Anatomie gedeutet werden. Was wir gemeinhin Anatomie nennen, die Kenntnis aller anatomischen Einzelheiten, ist zu *Leonardos* Lebzeiten so gut wie völlig unbekannt. Für ihn ist Anatomie, besonders soweit sie für den Künstler in Frage kommt, letzten Endes die wägende, messende, zergliedernde und wieder aufbauende, den Konstruktionen nachsinnende Beobachtung und Anschauung des lebendigen Menschen. Die Kenntnis einzelner Muskeln ist für ihn allenfalls Mittel zum Zweck, nicht mehr. Insofern berührt sich mit *Leonardos* Betrachtungsweise die jüngste Strömung in der anatomischen Wissenschaft, welche darauf abzielt, über die Kenntnis aller Einzelheiten der Leiche hinaus zu einem Gesamtbilde des lebendigen Menschen zu gelangen.

Keine von *Leonardos* Vorschriften bezieht sich auf die künstlerische Behandlung des toten Körpers. Er selbst hat auch meines Wissens niemals einen Leichnam gemalt. Und vielleicht nur ihm, dem besten Kenner aller feinsten Feinheiten des Muskelspiels, aller zartesten Faltungen der Haut, der ins Feinste modellierenden Wirkung des unter der Haut gelegenen Fettes am lebenden Körper, ihm, zugleich dem genauen Kenner des toten Körpers, wäre möglich gewesen, was noch keinem Künstler wirklich voll glückt ist, auch den Leichnam mit allen Merkmalen des wirklichen Todes darzustellen<sup>14)</sup>.

*Leonardo* empfiehlt dem Künstler nicht etwa, selbst Leichen zu zergliedern und anatomische Präparate abzuzeichnen, sondern an lebendigen Menschen Anatomie zu treiben mit offenem Auge, mit Skizzenbuch und Griffel.

<sup>14)</sup> Dies überhaupt zu fordern kann natürlich nur ein, ich möchte sagen „aufgeklärter“ Naturalismus berechtigt sein, wie ihn *L.* und die großen Meister der Renaissance vertreten. Dennoch in den Darstellungen der Kreuzigung, Kreuzabnahme usw. den Körper Christi für tot hinnehmen, wie in der noch so primitiven oder noch so verzerrten Haltung oder Geste die „Absicht der Seele“ erkennen, kann nur derjenige, der sich bemüht, nicht nur die Absicht der Seele des Dargestellten zu fühlen, sondern auch die der Seele des darstellenden Künstlers. Beides ist gewöhnlich nicht voneinander zu trennen, außer einigermaßen in den Extremen: in einem Naturalismus, der nur den dargestellten, und einem „Expressionismus“, der nur den darstellenden Menschen sprechen lassen will. Wie weit das Fühlen bzw. Verstehen gelingt, hängt wohl zum großen Teil davon ab, wie weit das dargestellte Bild sich mit dem geistigen Bilde des Betrachters von dem Dargestellten vereinbaren läßt. Denn jeder Mensch trägt von allen anderen Menschen, Dingen und Vorgängen nur ein abstrahiertes, nichtwirkliches Bild im Gedächtnis, mit dem er nun das dargestellte, d. h. das farbig oder plastisch wiedergegebene geistige Bild des Künstlers, vergleicht.

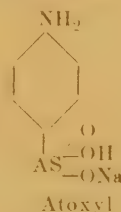
*Leonardos* Vorschriften für den Künstler sind nur von seinem Standpunkte des aufgeklärten Naturalismus aus verständlich, den man sich zu eigen machen muß, um die anatomischen Vorschriften richtig verstehen und wiedergeben zu können.

## Die biochemische Bedeutung der organischen Quecksilberverbindungen<sup>1)</sup>.

Von W. Schoeller, Freiburg i. Br.

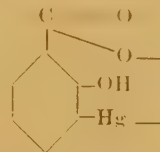
Die metallorganischen Verbindungen des Arsens und Quecksilbers haben in ihrer Geschichte das Eine gemeinschaftlich, daß aus beiden Reihen wertvolle Therapeutika hervorgegangen sind, die lange Zeit ihrem chemischen Aufbau nach unverstanden blieben, nämlich das *Atoxyl* und das *Hydrargyrum salicylicum*. Ersteres war von *Béchamp* schon im Jahre 1863 durch Erhitzen von Arsensäure mit Anilin erhalten worden und galt demzufolge als ein *Anilid* wie etwa das *Acetanilid* (Antifebrin). Im analogen Verfahren wird durch Verschmelzen von Salicylsäure mit Hg-Oxyd oder geeigneten Hg-Salzen das Hg-salicylicum erhalten, das man seinem Wesen nach für ein gemeinschaftliches Hg-Salz der beiden sauren Gruppen der Salicylsäure hielt, des Carboxyls und Phenol-Hydroxyls.

Wir wissen heute, daß *Atoxyl* kein Anilid ist, denn wir verdanken *Ehrlich* und seinen chemischen Beratern *v. Braun* und *Berthelm* die Erkenntnis, daß der Arsenrest *nicht* an Stickstoff, sondern vielmehr an Kohlenstoff gebunden ist und in der Parastellung den Benzolkern substituiert hat, entsprechend der Formel:



Dieser Einblick in die Konstitution ist für *Ehrlich* der Schlüssel zu seinen chemotherapeutischen Studien an Arsenikalien gewesen; denn nur durch die so gewonnene Möglichkeit mannigfaltigster Variation des im *Atoxyl* gegebenen Themas konnte er fortschreitend zum *Salvarsan* gelangen.

Die Konstitution des Hg-salicylicum ist von *Dimroth* festgelegt; auch hier handelt es sich nicht um ein gewöhnliches Hg-Salz, sondern dieses zweiwertige Metall substituiert mit seiner einen Valenz den Benzolkern vornehmlich in der Orthostellung zum Phenolhydroxyl, während die zweite Valenz mit dem Carboxyl nach Art der Salze verbunden bleibt, entsprechend der Formel:



<sup>1)</sup> Nach Vorträgen, gehalten vor der Vereinigung Südwestdeutscher Hochschullehrer der Chemie sowie auf der Naturforscherversammlung zu Leipzig.

Es ist also als das Anhydrid einer Oxy-Quecksilber-Salicylsäure aufzufassen.

Bei der Analogie des Aufbaues dieser beiden Medikamente erschien es daher aussichtsreich, zu prüfen, ob nicht das im Hg-salicylicum gegebene Thema der organischen Hg-Verbindungen mit seinen Möglichkeiten mannigfaltigster Variation ebenfalls zu *biologisch wertvollen Verbindungen* führen könnte. Diese Aufgabe hat der Verfasser in Gemeinschaft mit W. Schrauth und der wertvollen Unterstützung berufener Mitarbeiter in Wissenschaft und Technik in Angriff genommen, über die hier in Kürze zusammenfassend berichtet werden soll.

## I.

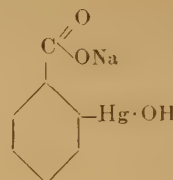
### Das Paul- und Krönigsche Gesetz.

Einer der am leichtesten experimentell zu verfolgenden biochemischen Vorgänge ist die Einwirkung chemischer Substanzen auf einzellige Organismen, wie sie in den üblichen „Desinfektionsversuchen“ pathogenen Keimen gegenüber durchgebildet ist. Hier liegen die klassischen Arbeiten von Paul und Krönig<sup>2)</sup> vor, welche Milzbrandsporen und Staphylokokken auf böhmischen Granaten auftröckneten und diese dann der Einwirkung verschiedener wäßriger Hg-Salzlösungen gleicher Hg-Konzentration aussetzten, um so unter den gebotenen Kautelen zu einem Einblick in die Faktoren zu gelangen, welche für eine Desinfektionswirkung maßgebend sind.

Es zeigte sich nämlich, daß Zusatz anorganischer Salze, also von *Elektrolyten*, die Desinfektionswirkung herabsetzt in dem gleichen Maße, wie auch die elektrolytische Dissoziation dieser Hg-Salze hierdurch herabgedrückt wird. Und so sprechen Paul und Krönig folgerichtig die *Hg-Ionen* als die Träger der eigentlichen Desinfektionswirkung an.

Demgegenüber erhebt sich nun die Frage, wie sich das Paul- und Krönigsche Gesetz zur Klasse der *organischen* Hg-Verbindungen verhalten würde<sup>3)</sup>. Will man aus dieser Körperklasse Verbindungen auswählen, welche zur Ausübung einer hinlänglichen Desinfektionswirkung in Frage kommen, so ist im Hg-benzoicum quasi ein Grundtyp gegeben, wie ihn das Atoxyl unter den Arsenikalien darstellt. Im Hg-benzoicum ist das Metall ebenfalls mit einer Valenz am Benzolkern gebunden und die negative Carboxylgruppe sorgt für einen ähnlichen elektrischen Ausgleich im Molekül, wie die Aminogruppe des Atoxyls dem fünfwertigen Arsenrest gegenüber.

Das Hg-benzoicum löst sich nach Dimroth leicht in Natronlauge, aber das so gebildete Natriumsalz der Formel:

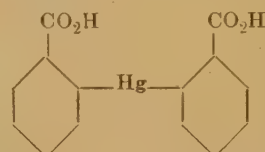


vermag dann *keine Hg-Ionen* zu bilden. Vielmehr verläuft die Dissoziation im Sinne des folgenden Schemas:



unter Bildung eines *komplexen Zwitterions*. Das Hg ist durch die Komplexbindung an Kohlenstoff eines Teils seiner Aktivität beraubt, denn eine wäßrige Lösung dieses Salzes amalgamiert weder Metalle noch fällt sie Eiweiß.

Trotzdem reicht der in der zweiten Valenz vorhandene Restbetrag an chemischer Affinität noch aus, um eine beträchtliche Desinfektionswirkung auszulösen, welche der des Sublimats nahesteht. Wird aber die Hydroxylgruppe gegen andere, einwertige, elektronegative, anorganische oder organische Reste vertauscht, wie z. B. Chlor, Brom, Jod, Cyan usw. im Sinne der Tabelle 1, so nimmt die Desinfektionskraft in dem Maße ab, als diese Reste die Fähigkeit vermissen lassen, vom Hg zu dissoziieren. Sind beide Valenzen des Metalls gegen organische Reste abgesättigt, wie etwa in der Hg-Dibenzoessäure



so ist die Fähigkeit zu biologischer Einwirkung so weitgehend geschwunden, daß in einer Zuckerlösung, der 1% Hg in Form dieser Verbindung resp. ihres Natriumsalzes beigelegt wird, die Gärung ungestört weitergeht.

Tabelle 1.

Methode: Staphylokokken auf Seidenfäden.

| Conc.                  | $\gamma/160 = 0,125\% \text{ Hg}$ |       |       |                       |      |       |                      | $\gamma/80 = 0,25\% \text{ Hg}$ |  |                   |                   |
|------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-----------------------|------|-------|----------------------|---------------------------------|--|-------------------|-------------------|
| $\text{CO}_2\text{Na}$ | X =<br>-HgOH                      | -HgBr | -HgCl | -HgNH <sub>2</sub> 1) | -HgJ | -HgCN | -HgN <sub>2</sub> 2) | -HgS<br>3)                      | -HgS <sub>2</sub><br>O <sub>3</sub> Na | -HgC <sub>2</sub> | -HgC <sub>3</sub> |
| 2 Min.                 | x                                 | x     |       |                       |      |       |                      |                                 |  |                   |                   |
| 4 "                    |                                   |       |       |                       |      |       |                      |                                 |  |                   |                   |
| 6 "                    |                                   |       |       |                       |      |       |                      |                                 |  |                   |                   |
| 8 "                    |                                   |       |       |                       |      |       |                      |                                 |  |                   |                   |
| 10 "                   |                                   |       |       |                       |      |       |                      |                                 |  |                   |                   |
| 12 "                   |                                   |       |       |                       |      |       |                      |                                 |  |                   |                   |
| 14 "                   |                                   |       |       |                       |      |       |                      |                                 |  |                   |                   |
| 16 "                   |                                   |       |       |                       |      |       |                      |                                 |  |                   |                   |
| 18 "                   |                                   |       |       |                       |      |       |                      |                                 |  |                   |                   |
| >20 "                  |                                   |       |       |                       |      |       |                      |                                 |  |                   |                   |

1) Aminosäuren 2) Veronalrest 3) Hg-Dibenzoessäure

Die zweite Frage<sup>4)</sup>, welche experimentell zu beantworten war, bezieht sich offenbar auf den Einfluß, den andere, in den Benzolkern eintretende Substituenten auf die Desinfektionskraft des Hg-haltigen Zwitterions auszuüben vermögen. Hier kann man chemisch *aktive* oder auch *in-*

<sup>2)</sup> Zeitschr. f. Hyg. u. Inf. Bd. 25, S. 1 (1897), Ztschr. f. physikal. Chem. Bd. 21, S. 414.

<sup>3)</sup> W. Schrauth und W. Schoeller, Ztschr. f. Hyg. u. Inf. Bd. 66, S. 497 (1910).

<sup>4)</sup> W. Schoeller und W. Schrauth, Ztschr. f. Hyg. u. Inf. Bd. 67, S. 24 (1911).

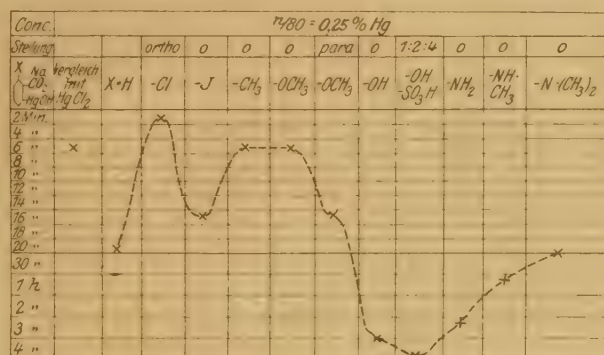


differente Gruppen wählen, und es zeigte sich, daß neu eintretende Carboxyl-, Phenol-, Sulfo- und Aminogruppen, also gerade die reaktionsfähigsten, die Desinfektionskraft zum Teil recht beträchtlich herabsetzen, während andererseits Halogen-, Alkyl- und Oxalkylgruppen trotz ihrer chemischen Passivität sie nicht unerheblich steigern. Sogar die Stellung des neu eintretenden Substituenten im Benzolkern — die *Stellungsisomerie* also — vermag deutliche Unterschiede zu bedingen, vgl. Tabelle 2.

Der Einfluß dieser beiden Faktoren, nämlich einerseits der Besetzung der zweiten Valenz des Hg, andererseits der Mitwirkung der Nebengruppierung, ist aus den beiden Tabellen zu ersehen, in denen unter Zeit diejenige Anzahl von Minuten verstanden ist, in welchen Staphylokokken von den betreffenden wäßrigen Lösungen der Präparate im  $1/80$  resp.  $1/160$  normaler Konzentration abgetötet werden. Die chemischen Symbole bedeuten den Substituenten, der jeweils in das Molekül eingetreten ist.

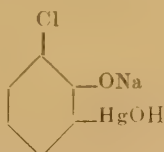
Tabelle 2.

Methode: Staphylokokken auf gerauhten Glasperlen.



Der den biologischen Effekt steigernde oder verschlechternde Einfluß der Nebengruppierung hängt aber offenbar weniger mit der chemischen Aktivität aller dieser Substituenten zusammen, als vielmehr mit der *Verschiebung der physikalisch-chemischen Eigenschaften des Zwitterions*, z. B. des Teilungskoeffizienten im Sinne der H. H. Meyer-Overtonschen Theorie sowie der Adsorptionskonstante.

Optimale Desinfektionswirkung<sup>5)</sup> ist somit in der Klasse der Hg-substituierten *Phenole* gegeben, denn bei ihnen besitzt die löslich machende Gruppe möglichst schwach sauren Charakter. Unter ihnen zeichnen sich dann wieder die mit *Alkyl* oder *Halogen* nebensubstituierten am meisten aus, insonderheit das Natriumsalz des *Chlorphenol-Hg* von der Formel:



<sup>5)</sup> W. Schrauth und W. Schoeller, Ztschr. f. Hyg. u. Inf. Bd. 82, S. 279 (1916).

In ihm ist die Aktivität des Hg durch die Komplexbindung gerade soweit herabgesetzt, daß Eiweiß, wie gesagt, nicht gefällt wird; durch die Nebengruppierung andererseits aber sind die physikalisch-chemischen Konstanten des Zwitterions, im Sinne der Tabelle 2, in einem biologisch-optimalen Verhältnis vorhanden. Es besitzt also die Vorzüge des Sublimats, ohne seine Nachteile zu zeigen.

Das Paul- und Krönigsche Gesetz behält somit seine Gültigkeit für den Faktor, der die Tabelle 1 beherrscht, muß aber durch Berücksichtigung noch anderer Faktoren ergänzt werden, deren Einfluß sich in Tabelle 2 widerspiegelt und deren genauere Untersuchung noch weiterer Forschung vorbehalten ist. Vielleicht ergibt sich dann ein ähnlicher Parallelismus, wie ihn *Otto Warburg*<sup>6)</sup> zwischen dem Gang der Adsorptionskonstante und der Wirkungsstärke bei den *Narkotica* festgestellt hat. Damit wären zugleich auch die inneren Beziehungen zwischen *Desinfektion* und *Narkose* unserm Verständnis nähergebracht. Bei schärferer Betrachtung ist der Einfluß solcher Faktoren auch schon bei den *rein anorganischen Salzen* des Hg wahrzunehmen, denn Hg-Nitrat dissoziiert zwar besser als Sublimat, ist ihm aber an Desinfektionskraft doch unterlegen; den Ausgleich bedingt eben die Fähigkeit des Sublimats, sich im lipoiden Milieu zu lösen.

## II.

## Die Giftwirkung im Warmblüter.

Die Wirkung der *Quecksilbersalze* oder aber des Metalls selbst im Warmblüter faßt *Gottlieb*<sup>7)</sup> in folgenden Worten zusammen: „Werden große Hg-Mengen rasch resorbiert, so betreffen die resorptiven Wirkungen das *Zentralnervensystem* und die *Ausscheidungsorgane*, also hauptsächlich den *Dickdarm* und die *Nieren*.“ Für die Form, in welcher die resorbierten Salze sich in der Zirkulation befinden, wird die des Cl-Hg-Albuminats angenommen. Die organischen Hg-Verbindungen sind nach wertvollen Vorstudien, so von *Hepp*<sup>8)</sup> und auch von *Bürgi*<sup>9)</sup>, systematisch untersucht worden von *Franz Müller*, *Schoeller* und *Schrauth*<sup>10)</sup>.

Sie können in der ersten Phase *molekulare Wirkungen* äußern, wie sie *Harnack*<sup>11)</sup> auch für die *Bleialkyle* beobachtet hat, dann aber unterliegen sie der *Zersetzung*, und hier haben sich

<sup>6)</sup> Otto Warburg, Ztschr. f. Elektrochemie 1922, Nr. 3/4, S. 70.

<sup>7)</sup> Meyer-Gottlieb, Experimentelle Pharmakologie, S. 499 (1914).

<sup>8)</sup> Hepp, Arch. f. exp. Pathol. u. Pharm. 23, 91 (1882).

<sup>9)</sup> Bürgi, Arch. f. Dermat. u. Syph. 79, H. 1/3 (1906).

<sup>10)</sup> Franz Müller, Schoeller u. Schrauth, Bioch. Ztschr. 33, 381 (1911).

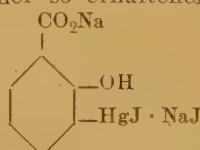
<sup>11)</sup> Harnack, Arch. f. exp. Pathol. u. Pharm. 9, 152 (1878).

<sup>12)</sup> Schoeller u. Schrauth, Mediz. Klinik 1912, Nr. 29.

nun zwei Beziehungen<sup>12)</sup> ergeben, welche einen überaus einfachen Zusammenhang zwischen Konstitution und Wirkung aufdecken.

Die organischen Hg-Verbindungen widerstehen nämlich jenen zersetzenden Einflüssen des Körpers in dem Maße, als die Bindung des Metalls an dem organischen Rest, der es trägt, *Stabilität* besitzt. Diese Widerstandskraft aber — ein rein physikalisch-chemischer Faktor, den Brieger und Schulemann<sup>13)</sup> im Sinne der Valenztheorie zu deuten versuchen — ist in erheblichem Maße abhängig von der Beanspruchung der zweiten Valenz des Metalles sowie von der *Neben-gruppierung*, unterliegt also ähnlichen Beziehungen, wie wir sie im vorigen Abschnitt angetroffen haben. Ein bequemes Maß für die Stabilität der Komplexbindung bildet die Zersetzung des Moleküls mit *Ammonsulfid*, welche beispielsweise für die Natriumsalze des Hg-salicylicum und des Hg-benzoicum sich widerspiegelt in den Zahlen 14 und 540 der Tabelle 3. Dies sind nämlich die Zeiten, innerhalb welcher, in Minuten ausgedrückt, die beiden Präparate bei gewöhnlicher Temperatur durch Ammonsulfid unter Abscheidung von Hg-Sulfid zersetzt werden, gleiche Hg-Konzentration vorausgesetzt in etwa 2proz. äquimolekularen Lösungen.

So überrascht es denn nicht, daß die *Dosis tolerata* pro Kilo Kaninchen für das Salicylicum 7 mgr, für das Benzoicum aber größer ist als 13 mgr. Wird nun im Salicylicum die zweite Valenz des Hg, also die am Metall anhaftende Hydroxylgruppe, gegen Jod ersetzt, so geht die Ammonsulfidzahl der so erhaltenen Verbindung:

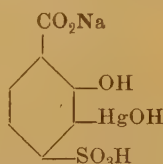


auf 2 zurück, und in genauer Parallele beträgt die Dosis tol. dann nur noch 1,5 mg.

Tabelle 3.

| Substanz  | Ammonsulfidzahl | Dosis tol. |
|---|-----------------|------------|
| Vergleich mit Sublimat.....   | < 1 Min.        | 1,5 mg     |
| J · Hg · C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> · OH · CO <sub>2</sub> Na · NaJ                | 2 "             | 1,5 "      |
| HO · Hg · C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> · OH · CO <sub>2</sub> Na ....                | 14 "            | 7 "        |
| HO · Hg · C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> · CO <sub>2</sub> Na.....                     | 540 "           | > 13 "     |
| HO · Hg · C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> · OH · SO <sub>3</sub> H · CO <sub>2</sub> Na | 60 "            | 40-60 "    |

Diesem Faktor aber gesellt sich noch ein zweiter, gleichwertiger bei, denn das *Sulfoderivat* des Hg-salicylicum von der Formel:



<sup>13)</sup> Brieger und Schulemann, Journ. prakt. Chem. (2), 98 (1914), 97.

besitzt eine Ammonsulfidzahl 60 — also wesentlich kleiner als die des Benzoicum —, trotzdem aber ist die Dosis tol. 40 bis 60 mg. Es war naheliegend, den Unterschied hier in den *Ausscheidungsverhältnissen* zu suchen, also in der Verschiebung des Teilungskoeffizienten in die wässrige Phase, sowie der Adsorptionskonstante. In der Tat läßt sich für die Wirkung dieses Faktors noch ein besonders anschauliches Beispiel anführen, in dem Vergleich der beiden folgenden Verbindungen:



Ersteres ist das bekannte Hg-Diäthyl mit seiner von Hepp<sup>9)</sup> näher studierten schweren Giftigkeit, letzteres die interessante Hg-Dipropionsäure, die Emil Fischer<sup>14)</sup> synthetisiert und v. Mehring untersucht hat. Beide Verbindungen unterscheiden sich nur durch ein Mehr oder Minder der Elemente der *Kohlensäure*. Während die erstere aber *rein lipoid* ist, besitzt die zweite als Natriumsalz große *Wasserlöslichkeit*, und somit ist die Möglichkeit der Ausscheidung gegeben. Sie ist so ungiftig, daß man sie und die analogen Hg-Dicarbonsäuren den Versuchstieren *grammweise* und in beliebiger Applikation geben kann, ohne irgendeine Wirkung zu sehen. Dies hängt, wie wir zeigen konnten<sup>10)</sup>, damit zusammen, daß das Präparat schon innerhalb 24 Stunden bis zu 85 % unverändert ausgeschieden ist. Beide Verbindungen gehören zur Klasse der „*bikomplexen*“, die von Ammonsulfid, wenn überhaupt, nur äußerst schwierig angegriffen werden. Darum haben die Dicarbonsäuren den Organismus längst verlassen, bevor die spaltenden Kräfte des Organismus wirksam werden können. Fehlt aber die Möglichkeit der Ausscheidung wie bei den hoch lipoiden Hg-Dialkylen, so hat der Organismus Zeit zu ihrer Zersetzung und löst somit die üblichen Giftwirkungen aus.

Was also bei den organischen Hg-Verbindungen die bekannten Giftwirkungen im Warmblüterorganismus ermöglicht, ist die Interferenz dieser beiden Faktoren:

#### Zersetzlichkeit

#### Ausscheidungsgeschwindigkeit,

wobei die erstere von der *Stabilität der Komplexbindung* bedingt wird, die letztere vom *Teilungskoeffizienten* unter Berücksichtigung der Kupplungsreaktionen, welche der Organismus im Sinne J. Schüllers zu weiterer Entgiftung noch vorzunehmen vermag. Der so als ClHg-Albuminat abgespaltene Anteil ist dann der Träger der *eigentlichen* Quecksilberwirkung. Erreicht er z. B. beim Kaninchen den Betrag von 1,5 mg pro Kilo Tier, so ist damit die *Dosis tol.* der betr. organischen Hg-Verbindung gegeben.

Nach welchen Gesichtspunkten sich die Aus-

<sup>14)</sup> Emil Fischer, Ber. 40 (1907), 388.



scheidung des Hg durch Darm oder Niere regelt, ist trotz der sorgfältigen Untersuchungen von *Almkvist* noch nicht bekannt. Auch bleibt noch festzustellen, in welcher Form das Hg im Harn enthalten ist.

Es scheint, daß die obigen Beziehungen auch für andere metallorganische Verbindungen Gültigkeit besitzen, denn vergleicht man Atoxyl mit dem p-Amino-Phenyl-Arsen-Oxyd der Formel:

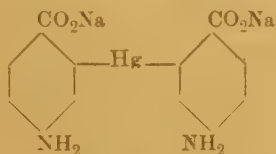


so wird in ersterem der Arsenrest erst durch mehrstündiges Kochen mit Salzsäure abgespalten, während letzteres sich bei kurzem Erwärmen leicht zersetzt. Daher beträgt auch die Dosis tol. für Atoxyl 250 mg, für die p-Arsen-Oxyd-Verbindung aber nur 4 mgr, berechnet pro Kilo Maus<sup>15)</sup>.

### III.

#### Die chemotherapeutische Wirkung.

Die chemotherapeutische Wirkung der organischen Hg-Verbindungen ist von verschiedenen Forschern an einigen Verbindungstypen untersucht worden, so von *Blumenthal*<sup>16)</sup> an einer „bikomplexen Verbindung“ der Formel:



von *Kolle*<sup>17)</sup> an Pyrazolonderivaten, von *Fourneau*, *Levaditi* und anderen mehr. Systematisch studiert wurden sie von *Schilling*, v. *Krogh*, *Schrauth* und *Schoeller*<sup>18)</sup>.

Nimmt man nach dem Ehrlichschen Vorbild die *Recurrensmaus* als Objekt, oder auch die Hühnerspirillose, so ist nur bei letzterer ein Heilerfolg zu erzielen, bei der Recurrensinfektion der Maus hingegen sieht man nur Andeutungen einer Wirkung. Denn die Giftwirkung des Hg und die Schädigung der Infektion sind beide auf das gleiche Organ gerichtet, nämlich auf den Darm, und steigern sich somit. Wiederum sind es Vertreter aus der Klasse der mercurierten *Phenole*, welche sich hier hervortun, so daß der Anschein erweckt wird, auch hier handle es sich um eine *Desinfektionswirkung* im lebenden Organismus, im Sinne der „*Sterilisatio*“ Ehrlichs. Da bei wasserlöslichen bikomplexen Verbindungen eine Wirkung nicht mit Sicherheit festgestellt werden konnte, so ist es offenbar der „abgespaltene Anteil“, welchen man als integrierenden Faktor für

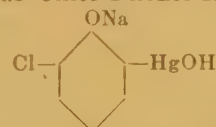
das Zustandekommen der Heilwirkung des Hg betrachten muß<sup>12)</sup>.

*Karrer*<sup>19)</sup> hat also einesteils recht, wenn er sagt: „Wir begegnen bei der Wirkung der Hg-Verbindungen einer Eintönigkeit, die kaum überboten werden kann, und zwar kommt das daher, daß die Hg-Verbindungen nicht als solche eine spezifische Wirkung entfalten, sondern nur in dem Maß und Grad wirken, als aus ihnen im Organismus Hg abgespalten wird. Und erst dieses ist es dann, das auf die Spirillen abtötend wirkt.“ In letzterem Punkte können wir uns indessen der Karrerschen Anschauung nicht anschließen, da wir in der Lage waren, experimentell wahrscheinlich zu machen: „daß diese Hg-Verbindungen auf die spezifische Antikörperbildung im Organismus einen befördernden Einfluß ausüben“<sup>18)</sup>. Doch kommen wir auf diesen Punkt in Kapitel VI ausführlich zurück.

### IV.

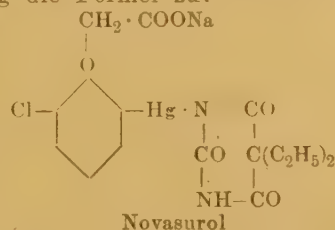
#### *Novasurol als Antilueticum und Diureticum.*

Um die wertvollen biochemischen Eigenschaften der mercurierten Phenole für die Praxis nutzbar zu machen, mußten die besten Vertreter dieser Klasse, speziell das Chlor-Phenol-Hg:



umgeformt werden; denn als Alkalisalze reagieren diese Verbindungen viel zu alkalisch, als daß sie einer direkten therapeutischen Anwendung fähig sind. Diese Umformung ist von den Farnefabriken vormals Friedr. Bayer & Co. vorgenommen worden, und zwar nach folgenden Überlegungen:

Die Phenolgruppe ist gedeckt worden wie etwa beim Phenacetin  $\text{CH}_3 \cdot \text{CO} \cdot \text{NH} \cdot \text{C}_6\text{H}_4 \cdot \text{O} \cdot \text{C}_2\text{H}_5$ , aber unter Wahrung der Wasserlöslichkeit, also nicht mit Alkyl wie bei jenem Phenetidinderivat, sondern quasi durch den umgekehrten Essigsäurerest, so daß aus dem Chlorphenol, der organischen Grundsubstanz des Moleküls, die *o*-Chlor-Phenoxy-Essigsäure:  $\text{Cl} \cdot \text{C}_6\text{H}_4 \cdot \text{O} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{COOH}$  wurde. Diese trägt in Orthostellung das Metall, an dessen zweiter Valenz ein stickstoffhaltiger, schwach saurer, organischer Rest sitzt, der die Reaktionsfähigkeit wenig behindert, nämlich der Veronalrest (vgl. Tabelle 1). Somit kommt der ganzen Verbindung die Formel zu:



<sup>15)</sup> Ehrlich u. Berthelm, Be. 44, 1267 (1911).

<sup>16)</sup> F. Blumenthal, Bioch. Z. 32, 59 (1911).

<sup>17)</sup> W. Kolle, D. med. Wschr. 38, Nr. 34, 1582 (1912).

<sup>18)</sup> Ztschr. f. Chemo-Therap. 1, 21.

<sup>19)</sup> P. Karrer, Vortrag: „Die Entwicklung der Chemotherapie“, Schweizerische Chemikerzeitung 1920. II. 40, S. 487.

Das Präparat wurde von Zieler<sup>20)</sup> an einem Material von 900 Patienten während mehrerer Jahre sorgfältig durchgeprüft und alsdann der Syphilistherapie zugeführt. Seine gute Verträglichkeit verdankt es den Ausscheidungsverhältnissen<sup>21)</sup>, und diese wiederum bedingen eine Nebenwirkung, welche zu weiterer therapeutischer Anwendung Anlaß gegeben hat.

Wie nämlich Saxl<sup>21)</sup> und nach ihm eine ganze Anzahl anderer Autoren<sup>22)</sup> festgestellt haben, besitzt das Präparat eine recht beträchtliche *diuretische Wirkung*. So konnte Saxl im Falle eines mäßig starken Ödems bei einer Harnausscheidung von 300 ccm und einer Kochsalzausscheidung von 1,9 g am Vortage, durch Injektion von 2 ccm Novasurol in 10proz. Lösung, die Harnmenge auf 2582 ccm, enthaltend 19,84 g Kochsalz, steigern. Diese Wirkung tritt ebenfalls beim Normalen ein, wie auch Nonnenbruch<sup>22)</sup> gezeigt hat. Eine Novasurolinjektion führt hier selbst im wasser- und kochsalzarmen Organismus pro Injektion (0,2 g Novasurol) im Durchschnitt zu einer Kochsalzabgabe von etwa 20 g und einer Wasserabgabe von 1,2 l renal sowie 1,7 l extrarenal, verbunden mit einem Gewichtsverlust von 2,4 kg.

Die Wirkung setzt etwa 1 bis 1½ Stunden nach der Injektion ein, um nach ca. 12 Stunden abzuklingen, und läßt sich ohne Schädigung der Nieren beliebig wiederholen. Die Verwendung ist angezeigt bei kardialem Ödem, Hydrothorax, sowie Stauungsaszites, streng contra indiziert ist sie bei Nephritis. Dem Calomel ist das Novasurol überlegen durch sichere Dosierung sowie das Fehlen der Darmwirkung.

Dem Verfasser war die stark diuretische Wirkung bestimmter Klassen der organischen Hg-Verbindungen auch vor Erscheinen der Saxlschen Arbeit wohl bekannt durch einen Verbindungstypus, bei welchem Versuchstiere nach Versuchen vom W. Straub 15 % des Eigengewichtes an Harn abgaben, ohne Schädigung der Nieren oder sonstige Störungen zu erfahren. Auf Grund der schweren Zugänglichkeit dieser Verbindungen ist indessen vorläufig davon Abstand genommen worden, sie der Therapie zugänglich zu machen.

Über die Theorie der Novasuroidiurese sind die Ansichten noch nicht geeint, indem Autoren wie Thannhauser<sup>23)</sup> und Mühlhing<sup>24)</sup> den Angriffspunkt des Novasurols für renal halten, Ellinger<sup>25)</sup> indessen ihn in der Entquellung der Eiweißsole im Blutserum sowie im gleichsinnigen Einfluß auf die Gewebe sucht, indessen die Frage noch nicht für genügend experimentell geklärt betrachtet, während schließlich Bleyer<sup>26)</sup> den Wir-

kungsmechanismus für komplex hält. Weitere Forschung muß hier noch Klarheit schaffen.

## V.

### *Afridol und die Saatgutbeize Uspulun.*

Die hohe Desinfektionskraft der organischen Hg-Verbindungen, welche um so wertvoller ist, als ihnen eine wesentlich geringere Giftigkeit gegenüber dem Sublimat zukommt, hat in zweifacher Hinsicht praktische Anwendung gefunden.

Einmal hat Schrauth<sup>27)</sup> sie als Zusatz für Seife empfohlen und damit das Problem einer wirklich antiseptischen Seife definitiv gelöst. Denn während Sublimat sich im Seifenkörper zu dem unlöslichen Hg-Stearat umsetzt, welches praktisch wirkungslos ist und schließlich zu Metall reduziert wird, erfährt die an sich starke Desinfektionskraft der alkylsubstituierten Carbonsäure nach Tabelle 1 im Waschprozeß sogar noch eine Steigerung. Unter den in Frage kommenden Verbindungen haben die Farbenfabriken vormals Friedr. Bayer & Co. das o-Oxy-Hg-Toluylsaure-Natrium der Formel  $\text{HOHg} \cdot \text{C}_6\text{H}_3 \cdot \text{CH}_3 \cdot \text{CO}_2\text{Na}$  gewählt und bringen mit 4proz. Zusatz dieses Salzes das „Afridolseife“ genannte Produkt für den praktischen Gebrauch des Arztes sowie zur Bekämpfung bakterieller Haut- und Haarkrankheiten heraus.

Ein zweites, großes und überaus wertvolles Anwendungsgebiet ist schließlich den organischen Hg-Verbindungen als *Saatgutbeizen* durch die Farbenfabriken vormals Friedr. Bayer & Co. erschlossen worden, speziell durch Dr. Wesenberg, den Leiter der bakteriologischen Abteilung.

Bekanntlich ist das Saatgetreide nicht keimfrei, sondern normalerweise in schwankendem Prozentsatz infiziert mit Pilzen, welche die Erreger der verschiedenen Pflanzenkrankheiten darstellen, die dem Landmann unter dem Namen „Brand“ geläufig sind. Hierher gehören, um nur einige zu nennen, der Steinbrand des Weizens, Fusarium (Schneeschnitz) des Roggens und anderer Saaten, Roggenstengelbrand, die Streifenkrankheit der Gerste, Haferflugbrand, Rübenwurzelbrand, Beulenbrand des Maises u. a. m. Diesen Infektionen fällt alljährlich ein nicht unbeträchtlicher Teil der Saat zum Opfer, wobei der Ernteertrag sich entsprechend verringert unter gleichzeitiger erneuter Infektion des künftigen Saatgutes.

Zur Abtötung dieser pathogenen Pilze bedient man sich in der Landwirtschaft seit langem neben der Heißwasser- und Heißluftbehandlung keimtötender Mittel wie Formaldehyd- und Kupfersulfat; auch von Sublimat läßt sich zweckmäßig Gebrauch machen.

Da nun die organischen Hg-Verbindungen in ihrem optimalen Vertreter, wie eingehend geschildert, dem Sublimat an Desinfektionskraft mindestens gleichwertig sind und obendrein nur

<sup>27)</sup> Vgl. W. Schrauth, Die medikamentösen Seifen (Springer, Berlin), S. 94.

<sup>20)</sup> Zieler, M. m. W. 1917, Nr. 39, 1257.

<sup>21)</sup> Saxl, W. kl. W. 1920, Nr. 8; W. m. W. 1921, Nr. 30; Saxl u. Heilig, W. kl. W. 1920, Nr. 43, 943.

<sup>22)</sup> Vgl. das Sammelreferat von Nonnenbruch D. med. Wschr. 1922, Nr. 17, 572, sowie Anmerkung <sup>26)</sup>.

<sup>23)</sup> Thannhauser, M. m. W. 1922, 255.

<sup>24)</sup> Mühlhing, M. m. W. 1921, Nr. 45.

<sup>25)</sup> Ellinger, Klin. Wschr. 1922, Nr. 6, 252.

<sup>26)</sup> Bleyer, Kl. Wschr. 1922, Nr. 39, 1942.



etwa den zehnten Teil seiner Giftigkeit besitzen, so hat *Wesenberg* die merkuriierten Phenole, und unter ihnen speziell das Chlor-Phenol-Hg zur Verwendung als *Saatgutbeize* herangezogen. Selbstverständlich kann man dem Landmann das Chlor-Phenol-Hg selbst nicht in die Hand geben, sondern das Präparat wird durch zweckmäßigen Zusatz indifferenten Salze soweit gestreckt, daß es in dem Gemisch zu 20 % enthalten ist. Die weitere Beimischung eines blauen Farbstoffs soll nach dem Auflösen in Wasser der Möglichkeit eines Mißbrauchs vorbeugen.

Nach Voruntersuchungen der Farbenfabriken vormals Friedr. Bayer & Co. selbst und der Kaiserlich biologischen Anstalt für Land- und Forstwissenschaft<sup>28)</sup> haben als die ersten *Riehm*<sup>29)</sup> (Dahlem), *Remy* und *Vesters*<sup>30)</sup> (Bonn), *Spickermann*<sup>31)</sup> (Münster) und nach ihnen zahlreiche andere Autoren über den Erfolg des „Uspulun“ genannten Präparates berichtet.

Es geht aus diesen Arbeiten klar hervor, daß der desinfektorische Effekt des Präparates ein absolut zuverlässiger ist, wenn das betreffende Saatgut eine Stunde lang mit einer 0,5proz. Uspulunlösung (entspricht 0,1% Chlor-Phenol-Hg) behandelt wird. Dies kann bei Weizen, Roggen und Mais beispielsweise durch Überbrausen des Saatgutes unter mehrmaligem Umschaukeln erfolgen oder aber nach dem Tauch- und Badeverfahren geschehen, indem Hafer, Gerste, Rübenknäuel oder Gemüsesämereien etwa eine Stunde lang in die 0,25 bis 0,5proz. Uspulunlösung eingelegt werden. Das so behandelte Saatgut ist nach dem Trocknen praktisch keimfrei. Dabei wird, im Gegensatz zum Kupfersulfat und Formaldehyd, die Keimfähigkeit in keiner Weise beeinträchtigt, und die Triebkraft sowie die Widerstandsfähigkeit der jungen Pflanzen gegenüber den Witterungseinflüssen sind weit besser als bei Verwendung jener anderen Beizmittel.

Bis hierhin ist die Wirkung des Uspuluns als die normale Konsequenz jener desinfektorischen Fähigkeiten, verbunden mit geringer Giftigkeit, zu betrachten, welche in Kapitel I und II ausführlich behandelt sind. Nun aber kommt ein zweiter Faktor hinzu, welcher das Präparat besonders wertvoll erscheinen läßt. Wie nämlich aus den Versuchen bekannt ist, die *Hugo Schulz*<sup>32)</sup> in den 80er Jahren anstellte, vermag Hefe unter dem Einfluß minimaler Sublimatmengen eine stärkere Gärung hervorzubringen, als sie es normalerweise kann. Diese Versuche, denen später andere gleichsinnige, z. B. auch mit Arsenverbindungen folgten, sind der Ausgangspunkt

zur Aufstellung jener biologischen Regel gewesen, welche heute unter dem Namen des *Arndt-Schulz'schen Gesetzes* bekannt ist und die besagt, daß schwache Reize die Lebenstätigkeit fördern, stärkere sie herabsetzen und stärkste sie aufheben.

In die erste Phase dieser Regel scheint sich nun auch die Uspulunwirkung mit einzufügen, denn bei der Verwendung des Präparates in großem Maßstabe in der deutschen Landwirtschaft und in anderen Kulturländern zeigte es sich bald<sup>33)</sup>, daß Uspulun-gebeiztes Saatgut ein stärkeres Wachstum und sogar einen größeren Fruchtertrag aufwies, als das ungebeizte oder das mit anderen Beizmitteln behandelte. Während der einstündigen Beize werden also offenbar kleinste Mengen des Chlor-Phenol-Hg resorbiert und diese können dann als Ergebnis einer minimalen Giftwirkung durch den biologischen Reiz das Wachstum stimulieren.

Um aus zahllosen Beispielen nur zwei anzuführen, so ist dieser Effekt aus der folgenden Abbildung bei Bohnen unschwer zu erkennen, welche im Sommer 1917 von den Farbenfabriken vormals Friedr. Bayer & Co. zum Vergleich gepflanzt wurden.

Das stärkere Wachstum der mit Uspulun gebeizten Bohnen ist recht eklatant.

Der gleiche Effekt aber zeigt sich, wenn auch nicht ganz so stark, bei Saatgetreide, indem z. B. nach Versuchen *G. Beltmanns* im Jahre 1918 ein Ar mit ungebeiztem Hafer einen Ernteertrag von 13 kg Körnern und 22 kg Stroh ergab, während das Uspulun-gebeizte Versuchsfeld gleicher Größe 17 kg Körner und 31 kg Stroh erbrachte. Wenn diese Zahlen naturgemäß nicht überall erzielt werden können, unter Berücksichtigung der Bodenverhältnisse und der Witterung, so bleibt doch zu bedenken, welcher ein volkswirtschaftlich wichtiger Faktor aus der Übertragung dieser kleinen Versuche in großen und größten Maßstab ersteht, wenn schon der *Beltmann'sche Versuch* auf den Hektar umgerechnet einen Mehrertrag von 400 kg Körnern und 900 kg Stroh bedeutet.

Uns interessiert an dieser Stelle besonders die wissenschaftliche Seite des Problems, daß es nämlich mit diesem Präparat möglich ist, den normalen Ablauf des Pflanzenwachstums zu steigern, nicht nur, wie bisher, durch Düngung, sondern durch ein anderes, in seiner praktischen Anwendung jedenfalls durchaus neuartiges Prinzip. Will man dieses näher bestimmen, so läßt sich am besten anknüpfen an eine Terminologie, welche neuerdings *Heubner*<sup>34)</sup> geschaffen hat. Er stellt der *Nekrobiose* den Begriff der *Pathobiose* an die Seite und versteht hierunter die Verschiebung des Zellzustandes ins Pathologische, welche bei einmaliger Vergiftung nach

<sup>33)</sup> Vgl. auch *J. R. de la Espriella*, Mitteilungen der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft 1917, Stück 1.

<sup>34)</sup> *Heubner*, Ztschr. f. ges. exp. Med. 13, 479 (1921); Klin. Wschr. 1922, 1351.

<sup>28)</sup> Mitteilungen aus der Kaiserl. Biol. Anstalt für Land- und Forstwirtschaft H. 14, 9.

<sup>29)</sup> Zentralblatt für Bakt. 44, Nr. 14—16.

<sup>30)</sup> Illustrierte Landwirtschaftliche Zeitung 1914, Nr. 91/92.

<sup>31)</sup> Illustrierte Landwirtschaftliche Zeitung 1914, Nr. 76.

<sup>32)</sup> Zentralbl. f. Bakteriologie. 2, 4, 172 (1888).

Ausscheidung des Giftes zurückbleiben kann, also einen degenerativen Effekt.

Im Sinne der Arndt-Schulzischen Regel ist der pathobiotische Zustand offenbar eine Folge der zweiten Phase jenes Gesetzes; was aber in der Uspulunwirkung vorliegt, ist ein chronischer Zustand, der sich als eine Folge der ersten Phase der Arndt-Schulzischen Regel betrachten läßt. In Anlehnung an den Heubnerschen Begriff der *Pathobiose* könnte man den durch Uspulun am Pflanzenorganismus erzeugten biologischen Effekt als „eubiotisch“ bezeichnen, um so die verschiedenen Beobachtungen aus diesem Gebiete begrifflich zusammenzufassen. Wir haben also in diesem eubiotischen Zustand gerade so eine

nicht als eine „Desinfektionswirkung in corpore“ dar.

Unter den Dermatologen ist es als erster *Finger*<sup>35)</sup> gewesen, der darauf hinwies, daß die Hg-Dosen, welche beim Patienten wirken, im Verhältnis zum Organismus viel zu klein sind, um als eine „Desinfektion“ in Frage zu kommen, daß ferner die syphilitischen Effloreszenzen eher heilen, als die Spirochäten verschwinden und schließlich, daß das Hg bei florider Lues besser wirke als in den latenten Stadien. Ihm haben sich in neuerer Zeit immer mehr Autoren angeschlossen, unter denen speziell *Heller*<sup>36)</sup> und *Buschke*<sup>37)</sup> erwähnt seien. Am weitesten in dieser Richtung ist offenbar *Lesser*<sup>38)</sup> gegangen, welcher



Beizversuch mit Uspulun an Bohnen.

Verschiebung der Zellfunktion zu höherer biologischer Leistung vor uns, wie im pathobiotischen eine Verminderung derselben eintritt. Vorstudien des Verfassers scheinen auf einen Einfluß geringer Mengen komplexer Hg-Verbindungen auf den Ablauf fermentativer Reaktionen hinzuweisen. Wenn ein weiteres Studium zu einem Einblick in den Mechanismus des eubiotischen Zustandes führen sollte, so wäre für die Wissenschaft wie auch für die Praxis ein gleich großer Gewinn zu erwarten.

## VI.

### Zum Mechanismus der Hg-Wirkung bei Syphilis.

Wie bereits im dritten Kapitel angedeutet wurde, stellt sich nach Ansicht der Praktiker sowie der Theoretiker die Heilwirkung des Hg

dem Hg lediglich eine symptomatische Wirkung zuschreibt. Den experimentellen Beweis aber für die Richtigkeit obiger Anschauung erbrachte in jüngster Zeit v. Wassermann<sup>39)</sup>. Die großartige Klarlegung des Mechanismus seiner serodiagnostischen Reaktion führte zu der Erkenntnis, daß die syphilitischen Wirtszellen mit ihrem pathologischen Stoffwechsel Lipide aus-

<sup>35)</sup> *Finger*, Arch. f. Dermat. u. Syph. 1912, 113, 285.

<sup>36)</sup> *J. Heller*, Kl. Wschr. 1922, 519.

<sup>37)</sup> *Buschke*, D. med. Wschr. 1922, 1538; Berl. Kl. Wschr. 1921, Nr. 15.

<sup>38)</sup> *Lesser*, D. med. Wschr. 1921, 2/3; Berl. Kl. Wschr. 1921, 46.

<sup>39)</sup> v. Wassermann, Vortrag, gehalten vor der Deutschen mediz. Gesellschaft 15. 12. 1920, Berliner klin. Wschr. 1921, Nr. 9, 196.



scheiden, die sogen. „Wassermannsche Substanz“, welche in der Wa. R. mit dem Antigen zum Amboceptor vereint durch Komplementablenkung den positiven Ausfall eben jener Reaktion bedingt.

Da sich solche Lipotide, also Wassermannsche Substanz, normalerweise im Kaninchenserum befinden und v. Wassermann durch Behandlung dieser gesunden Tiere mit Hg die Lipotide aus dem Blutserum zum Verschwinden bringen konnte, d. h. da er durch Hg-Behandlung den natürlichen, positiven Wassermann normaler Kaninchen zum Negativwerden brachte, so ist ihm in der Tat der Beweis geglückt, daß das Hg eine „spezifische Wirkung auf die Zellen ausüben kann, ohne die Spirochäten selbst berühren zu müssen“.

Es will nun scheinen, als ob zwischen diesen klassischen Versuchen v. Wassermanns und der im vorigen Kapitel besprochenen stimulierenden Wirkung der organischen Hg-Verbindungen auf die Wachstumsenergie des Saatkorns Beziehungen bestehen. Denn wir dürfen doch wohl die Reaktionsmechanismen der pflanzlichen und tierischen Zellen in ihren Grundprinzipien für soweit wesensgleich betrachten, um die Vermutung zu rechtfertigen, daß es der gleiche Effekt katalytischen Charakters ist, welcher in der normalen Zelle des Saatkorns den Lebensprozeß über die Norm erhebt, und der spezifisch pathologisch funktionierenden Zelle des syphilitisch infizierten Organismus die Fähigkeit verleiht, zur Norm zurückzukehren<sup>40)</sup>. Damit ist dann zugleich die Erklärung gegeben, daß sich eine Hg-Verbindung nicht hat finden lassen, welche dem Salvarsan mit seiner ätiologischen Wirkung gleichwertig wäre, andererseits aber liegt in dieser Erkenntnis die Begründung der kombinierten Therapie sowie die Erklärung dafür, daß das Hg auch zu unspezifischen Heilwirkungen<sup>41)</sup> in der Ophthalmologie und Neurologie befähigt ist.

## Das Aufreißen von kaltgereckten Kupferlegierungen.

In der Technik ist die unangenehme Eigenschaft mancher Kupferlegierungen und vor allen Dingen des Messings, zuweilen ohne ersichtliche Ursachen aufzureißen, schon lange bekannt. Der Umstand, daß beim Aufreißen oft beträchtliche Verkrümmungen des Gegenstandes auftreten, ließ schon lange vermuten, daß das Aufreißen im Zusammenhang mit inneren im Material vorhandenen Spannungen ist. Seit den bahnbrechenden Untersuchungen von Heyn (1911—1914)<sup>1)</sup>, der in den kaltgereckten Metallen Spannungen nachgewiesen und gemessen hat, ist die Frage als prinzipiell geklärt zu betrachten. Heyn hat gezeigt, daß in kaltgereckten Metallen Zug- und Druckspannungen

auftreten können, die bis nahe an die Zerreißgrenze des Materials reichen. Solange diese nicht erreicht wird, behält der Körper seine Form. Sobald aber durch irgendeine Ursache die Spannungen diese in einzelnen Teilen überschreiten, zum Beispiel durch mechanische Beanspruchung, durch Änderung der Form (Bearbeitung mit schneidenden Werkzeugen), durch Einkerbung usw., wird der Zusammenhang gelöst, und der Gegenstand reißt auf.

Heyn hat auch bereits auf den Weg hingewiesen, auf dem die Gefahr des Aufreißens beseitigt werden kann. Er hat nämlich gezeigt, daß die inneren Spannungen in den kaltgereckten Metallen bei einer Erhitzung auf verhältnismäßig nicht hohe Temperaturen, bei denen eine Rekristallisation und eine damit verbundene Änderung der technischen Eigenschaften (Härte, Zerreißfestigkeit usw.) noch nicht eintritt, beseitigt werden können.

In Anbetracht der großen Bedeutung dieser Erscheinungen sind in England in den letzten Jahren ausgedehnte Untersuchungen über das Aufreißen (season cracking) von Kupferlegierungen, vor allen Dingen von Messing mit 70 % Cu ausgeführt worden<sup>2)</sup>. Da diese Untersuchungen keine prinzipiell neuen Momente gegenüber der Theorie von Heyn gebracht haben, so wollen wir sie im Anschluß an diese und als ihre Weiterführung betrachten.

Nach Aufstellung des allgemeinen Gesichtspunktes von Heyn galt es im einzelnen folgende Fragen näher zu untersuchen:

1. Tritt das Aufreißen tatsächlich nur dann auf, wenn im Material innere Spannungen vorhanden sind?
2. Welche Maßnahmen können diese Gefahr beseitigen?
3. Welche äußeren Bedingungen führen das Aufreißen herbei resp. sind von Einfluß auf dasselbe?

Die Untersuchungsmethode von Moore bestand darin, daß er für Versuche Messingschalen von bestimmten Abmessungen unter bestimmten Bedingungen kalt drücken ließ. Die Härte wurde auf der ganzen Oberfläche der Schalen bestimmt und wurde als Maß des Verarbeitungsgrades und damit der inneren Spannungen benutzt. Diese wurden außerdem an dem Betrage geschätzt, um den radiale aus den Schalen geschnittene Streifen sich aufbogen. An diesen Schalen wurden nun ausgedehnte systematische Beobachtungen über das Aufreißen gemacht. Als ein das Aufreißen außerordentlich beschleunigender, übrigens schon bekannter Faktor wurde die Behandlung mit Lösungen von Quecksilbersalzen benutzt; auf diese wird im weiteren noch zurückzukommen sein.

Ad 1 zeigte sich nun auf Grund sehr zahlreicher Beobachtungen ganz allgemein, daß das Aufreißen nur dann auftritt, wenn innere Spannungen nachgewiesen oder als vorhanden anzunehmen sind. Jede Maßnahme, die die Spannungen beseitigt oder herabsetzt, muß entsprechend also auch die Neigung zum Aufreißen beseitigen oder herabsetzen.

Ad 2 wurde ausführlich die Wirkung der vorsichtigen Erhitzung nach dem Vorschlag von Heyn an der Hand von Schalen aus 70 % Messing verfolgt, wobei zum Vergleich und zur genaueren Untersuchung der Wirkung der Erhitzung auf die Härte Messingbleche verschiedenen Härtegrades (also verschiedenen Grades der Kaltreckung) herangezogen wurden. Die Härteverteilung in einer gedrückten Messingschale ist

<sup>40)</sup> Dabei kann wohl die Aktivierung „lipolytischer Lymphozyten“ im Sinne Bergels mitwirken, vgl. Kl. Wschr. 1922, 204.

<sup>41)</sup> Z. B. Internationale Zeitschrift für Metallographie J, 16, 1911. — Naturwissenschaften 1921, S. 321.

<sup>2)</sup> Moore and Beckinsale, Inst. Met. 1920 I, 1921 II.

in Tabelle 1 wiedergegeben. Man sieht, daß die Brinellhärte zwischen 62 und 148 schwankt. In der Tabelle 2 sind die Erhitzungsbedingungen angegeben, unter denen die Neigung zum Aufreißen praktisch beseitigt werden konnte, und in Tabelle 3 die Bedin-

Tabelle 1.

Härteverteilung in einer gedrückten Schale aus 70% Messing,

Form etwa

| Ort                              | Härte nach Brinell |
|----------------------------------|--------------------|
| Flansch .....                    | 143                |
| Verbindung von Flansch und Boden | 148                |
| 0,25 Zoll vom Flansch .....      | 142                |
| 0,5 " " " .....                  | 125                |
| 0,75 " " " .....                 | 112                |
| 1,0 " " " .....                  | 83                 |
| 1,25 " " " .....                 | 64                 |
| 1,5 " " " und mehr ..            | 62                 |

Tabelle 2.

Zur Beseitigung der Gefahr des Aufreißen notwendige Erhitzungsbedingungen.

| Temperatur der Erhitzung | Zeit       |
|--------------------------|------------|
| 200°                     | 96 Stunden |
| 225                      | 48 "       |
| 250                      | 5 "        |
| 275                      | 1 Stunde   |
| 300                      | 20 Minuten |
| 325                      | 5 "        |

Tabelle 3.

Erhitzungsbedingungen, die zu einer merklichen Härteabnahme führen.

| Temperatur | Erhitzungszeit bei ursprünglicher Härte nach Brinell von |
|------------|--|
|            | 196      148      118      91                            |
| 225°       | Keine merkliche Härteabnahme                             |
| 250°       |  |
| 275°       |  |
| 300°       |  |
|            | 2h      2h   |
|            | 5'      20'  |

gungen, unter denen eine merkliche Härteabnahme eintritt; man sieht, daß der Abfall der Härte desto früher einsetzt, je höher die Härte vorher war. Für Gegenstände aus Messing mit 70% Cu und 30% Zn, deren innere Spannungen, an der Härte gemessen, den Wert 150 nicht übersteigen, bietet eine Erhitzung auf 275° während 1 Stunde also ein sicheres Verfahren zur Beseitigung der Gefahr des Aufreißen ohne nachteilige Beeinflussung der Härte. Aus der Tatsache, daß bei höheren ursprünglichen Härtegraden (höheren Verarbeitungsgraden und dementsprechend höheren inneren Spannungen) die Härte schon bei tieferen Temperaturen abzufallen beginnt, schließen die Verfasser, daß in solchen Fällen eine (ungünstige) thermische Beeinflussung der Eigenschaften bei der Erhitzung schon vor Beseitigung der Spannungen eintritt, so daß nur in einem Material mit Eigenspannungen, die einer Härte von nicht über 150 nach Brinell entsprechen, eine Beseitigung der Spannung durch Erhitzung ohne Beeinträchtigung des Materials möglich ist.

Man ersieht aus Obigem, wie unsicher die Härtebestimmung als Maß der inneren Spannungen ist, da

die inneren Spannungen weitgehend beseitigt werden können, ohne daß die Härte sich ändert. Nur, wenn das Material unter genau eingehaltenen Bedingungen deformiert wird, kann die Änderung der Härte, die unmittelbar ein Maß für die durch das Kaltrecken hervorgerufene Verfestigung ist, auch als Maß der den Vorgang der Verfestigung in der Kälte begleitenden Entstehung innerer Spannungen dienen.

Ad 3 konnte bestätigt werden, daß jede Verletzung der Oberfläche, und insbesondere durch chemischen Angriff, die Entstehung von Rissen begünstigt. Besonders wirksam sind in dieser Beziehung Quecksilber und Lösungen von Quecksilbersalzen sowie von Ammoniumsalzen (Ammoniumnitrat), ferner freies Ammoniak (in Gegenwart von Feuchtigkeit und von Sauerstoff). Andere Reagenzien, insbesondere stärkere Säuren (Salpetersäure), rufen kein Aufreißen des Messings hervor.

Durch ausgeführte Luftuntersuchungen wurde nachgewiesen resp. wahrscheinlich gemacht, daß Gegenstände, die nach längerem Lagern (season cracking im eigentlichen Sinne des Wortes) aufgesprungen waren, sich in ammoniakhaltiger Atmosphäre befunden hatten. Es ist ja auch bekannt, daß nach jedem Gewitter die Atmosphäre und der Regen Ammoniumnitrat enthält. Es ist somit wahrscheinlich gemacht, daß das freiwillige Aufreißen von Messinggegenständen, wie es zuweilen nach längerem Lagern auftritt, auf die Wirkung geringer kaum zu vermeindernder Ammoniak- und Ammonsalzspuren zurückzuführen ist<sup>3)</sup>.

Es zeigte sich ferner, daß ein Lacküberzug keinen Schutz gegen das Auftreten von Rissen bietet, wohl aber ein guter Nickelüberzug.

Als ein Mittel, das das Aufreißen begünstigt, wurde ferner die mechanische Zugbelastung festgestellt, in direkter Bestätigung der Auffassung von Heyn. Zerleibkörper, die vor der Zugbeanspruchung mit Quecksilbernitrat behandelt worden waren, rissen nach viel kürzerer Behandlungszeit auf als solche, die ohne mechanische Beanspruchung der Einwirkung des Quecksilbernitrats überlassen wurden.

Die mikroskopische Beobachtung zahlreicher entstehender Risse ergab ein wichtiges und interessantes Resultat. Das Aufreißen erfolgt stets längs der Grenzflächen der das Metall aufbauenden Kristallite (interkristallinisch) und nur dann quer durch einen Kristallit, wenn das aus geometrischen Gründen kaum zu vermeiden ist, wenn zum Beispiel ein länglicher Kristallit sich vor den Sprung quer vorlegt. Daraus ergibt sich, daß die Berührungsflächen der Kristallite der untersuchten Legierungen gegen Spannungen weniger widerstandsfähig sind, als das Innere der Kristallite. Die Anhänger der amorphistischen Theorie sehen hierin eine Bestätigung der Annahme einer amorphen Zwischenschicht zwischen den Kristalliten im Metall; jedoch dürfte diese Schlußweise keine zwingende sein.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß auch die chemische Einwirkung von Quecksilber- und Ammoniumsalzen längs bevorzugter Flächen, vermutlich längs der erwähnten Korngrenzen erfolgt. Dann wird es aber auch verständlich, warum diese korrodierende Wirkung so überaus gefährlich ist und in dieser Beziehung die Wirkung einer mechanischen Verletzung der Oberfläche, die meist unmerklich bleibt, so übertrifft. Der

<sup>3)</sup> Heyn (a. a. O.) weist ferner darauf hin, daß das Aufreißen durch allmähliche Änderung der Spannungsverteilung hervorgerufen werden kann.



Angriff des korrodierenden Lösungsmittels führt zur Bildung kleiner Ansätze von Haarrissen, deren Spitzen mikroskopisch oder gar ultramikroskopisch fein sind. Diese Haarrisse sind also Kerbe mit ungemein scharfen Spitzen. Wie am Beispiel des Glases allgemein bekannt ist, und wie insbesondere *Heyn* für Metalle auseinandergesetzt hat<sup>4)</sup>, ist das Material in unmittelbarer Nähe der Spitzen solcher Kerbe gegen Beanspruchung sehr wenig widerstandsfähig und vermag den im Material bestehenden inneren Spannungen gegenüber keinen Widerstand zu leisten. Deshalb hat der in einem mit inneren Spannungen behafteten Metall entstehende Haarriß das Bestreben, sich automatisch fortzupflanzen und ein Aufreißen des ganzen Gegenstandes herbeizuführen.

Eine mechanische Verletzung der Oberfläche bedeutet auch einen Kerb, aber einen unvergleichlich stumpferen, der deshalb auch viel weniger gefährlich ist.

Es sei erwähnt, daß diese geschlossene Anwendung der Kerbwirkungstheorie im Sinne von *Heyn* zur Erklärung des Aufreißen sich nicht in den englischen Arbeiten findet. Einige von den englischen Verfassern greifen vielmehr zu außerordentlich gewagten Hypothesen. So wird zum Beispiel die Annahme gemacht, daß die Neigung zum Aufreißen dadurch zustande kommt, daß die nach *Beilby* und *Rosenhain* vorhandene (hypothetische) amorphe Zwischenschicht zwischen den Kristallen von diesen absorbiert wird. Es dürfte schwer sein, von diesem Vorgang eine physikalische Vorstellung zu gewinnen. Auch scheint die Annahme von Spannungen, die beim Kaltrecken entstanden sind, zusammen mit der Kerbwirkung, deren Wirkung und Bedeutung von der Fachwelt noch lange nicht genügend erkannt sind, tatsächlich zur Erklärung der Beobachtungen ausreichend zu sein.

Die Feststellung der Spannungen, die in einem Material bei gegebener Konstruktionsform und Belastung auftreten, und der Spannungsverteilung im Konstruktionskörper ist die Grundlage jeder Konstruktionsberechnung. Wenn die Widerstandsfähigkeit des Konstruktionsmaterials gegen Spannungenkräfte bekannt ist, so muß die Konstruktion der Bedingung genügen, daß die Spannungen in keinem Teil das zulässige Maß überschreiten. Trotzdem die Kenntnis der Spannungen so außerordentlich wichtig ist, sind unsere Mittel zu ihrer Feststellung außerordentlich gering. Was zunächst die Kenntnis der elastischen Materialkonstanten der Konstruktionsmaterialien betrifft, so ist schon diese sehr mangelhaft. Die Messung der physikalisch wohldefinierten elastischen Größen (Elastizitätsmodul und besonders Elastizitätsgrenze) erfordert einen großen Aufwand an Zeit und Mühe und ist (bei der Elastizitätsgrenze) meistens überhaupt kaum genau ausführbar. Aus diesem Grunde wendet die Technik andere Prüfmethoden an, die viel bequemer sind (Bestimmung der Zerreißfestigkeit, der Dehnung beim Zerreißen, der Härte durch Einpressen einer kleinen Kugel in die Oberfläche des Körpers usw.). Das gemeinsame Merkmal aller dieser Methoden ist, daß sie mit erheblichen dauernden (plastischen) Deformationen der Stoffe verknüpft sind; hierdurch treten aber nicht nur oft schlecht definierte geometrische Formänderungen ein, sondern es tritt, wenigstens bei Metallen, eine Änderung der elastischen Eigenschaften infolge der plastischen Deformation an

und für sich (Kaltrecken) ein. Aus diesen beiden Gründen besteht keine eindeutige und sicher ableitbare Beziehung zwischen den gemessenen Größen und den in Wirklichkeit verlangten elastischen Konstanten. Die Resultate der technischen Festigkeitsprüfungen sind nicht viel mehr als konventionelle empirische Größen, aus denen dann auch rein empirisch und konventionell in der größten Annäherung auf die wirklichen, physikalisch definierten Festigkeitseigenschaften der Materialien geschlossen wird.

Man sieht ein, was für eine erhebliche Unsicherheit durch die mangelhafte Kenntnis der Materialkonstanten in der Konstruktion entsteht. Man hat dieser Unsicherheit abzuweichen gesucht, indem man auf das physikalisch Rationelle noch weitergehend verzichtete und für spezielle Konstruktionszwecke spezielle Prüfungen einführte. Man versuchte hierbei das Material möglichst unter ähnlichen Bedingungen zu belasten, wie es in der wirklichen Konstruktion geschieht; man fragte sich überhaupt nicht mehr, welche physikalischen Eigenschaften des Materials man denn mißt. Man fragte sich nur — praktisch —, was das Material unter gewissen äußeren Bedingungen aushält. Es ist klar, daß diese Art der Prüfung nur ein Notbehelf sein kann, und daß den so gewonnenen Resultaten außerhalb des direkten Zweckes, für den sie auch nur mit großer Vorsicht zu benutzen sind, jede allgemeinere Bedeutung abgeht.

In Anbetracht der Unsicherheit der Festigkeitswerte gewinnt die genaueste Kenntnis der bei einer Konstruktion tatsächlich auftretenden Belastungen des Materials eine erhöhte Bedeutung, weil widrigenfalls zu der oben erwähnten Unsicherheit noch die Unkenntnis der Spannungsverteilungen kommt und man zur Sicherung der Konstruktion zu außerordentlich großen Sicherheitsfaktoren greifen muß, die die Konstruktion unnütz belasten und verteuern. Leider muß man feststellen, daß es hiermit noch schlechter steht, als mit der Ermittlung der Materialkonstanten. Wir besitzen überhaupt keine Möglichkeit, die Spannungen eines Elementes bei einigermaßen komplizierteren Konstruktionen innerhalb der Konstruktion zu messen. Zur Bestimmung der Spannungen sind wir ausschließlich auf die Rechnung angewiesen. Wenn auch die formale Elastizitätstheorie, mit deren Hilfe diese Rechnungen durchgeführt werden, hoch entwickelt ist, so gründet sie sich doch auf vereinfachte Näherungsannahmen, die in komplizierteren Fällen einen erheblichen Grad der Unsicherheit annehmen können. Außerdem lassen uns unsere mathematischen Hilfsmittel auch insofern im Stich, als die Formeln in den meisten praktisch besonders wichtigen Fällen, wie in Diskontinuitätsfällen — wenn die Rechnung überhaupt noch durchzuführen ist — derartig kompliziert werden, daß ihre zahlenmäßige Auswertung außerordentlich zeitraubend ist. Die Unmöglichkeit einer direkten experimentellen Bestimmung der Spannungen an der fertigen Konstruktion, das Fehlen eines Meßverfahrens, mit dessen Hilfe wir die Spannungen in den einzelnen Teilen des Konstruktionskörpers ablesen könnten, ohne den Körper zu deformieren, bildet also eine empfindliche Lücke, die in zahlreichen sowohl theoretischen wie auch praktischen Problemen außerordentlich störend ist.

Es gibt allerdings eine Reihe von Stoffen, bei denen man die Spannungen auf optischem Wege ablesen kann. Das sind die durchsichtigen Körper, insbesondere die Gläser. Es ist seit langer Zeit bekannt, daß das Glas durch Spannungen doppelbrechend wird.

<sup>4)</sup> Z. B. Materialienkunde für den Maschinenbau 1912.

und daß die Doppelbrechung unter Umständen als Maß der inneren Spannung dienen kann. Dasselbe gilt für andere durchsichtige Körper. Es liegt nun nahe, diese Erscheinung für das Studium von Spannungen in Bau- und Maschinenkonstruktionen an Hand von durchsichtigen Modellen aus Glas oder ähnlichen Stoffen dienstbar zu machen. Bereits der Entdecker dieser Art von Doppelbrechung, Brewster (1816), dachte daran, auf diese Weise Brückenkonstruktionen zu studieren. Es scheint, daß dieser Gedanke bis vor kurzem kaum verwirklicht worden ist. Neuerdings hat man ihm in Frankreich (*Mesnager*, Vorsteher des Laboratoriums des Departements für Brücken- und Wegebau) und in England (*Coker* und *Filon*, Universitätsprofessoren in London) erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt. Die General Electric Company in Amerika hatte ein so großes Interesse für dieses Verfahren, daß sie im Sommer 1920 *Coker* nach Amerika kommen und unter seiner Leitung in ihrem wissenschaftlichen Laboratorium (Research Laboratory in Schenectady) eine entsprechende Meßvorrichtung einrichten ließ. In den Heften der General Electric Review 1920 und 1921 veröffentlicht *Coker* eine Reihe von Artikeln über die Grundlagen und Anwendungen seiner Methode, auf die hier kurz eingegangen werden soll.

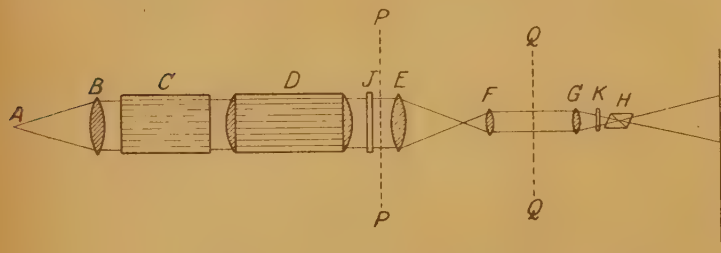


Fig. 1. Optische Anordnung zur Ermittlung von Spannungen in durchsichtigen Konstruktionsmodellen.

A — Lichtquelle, J, K —  $\frac{1}{4}\lambda$  Platten,  
B, E, F, G — Linsen, H — Analysator,  
C — Wassergefäß, P — Präparat.  
D — Polarisator,

Ein in der zum durchgehenden Strahl senkrechten Richtung gespannter Glaskörper verursacht eine Doppelbrechung des Strahls; das heißt, genau wie bei einem doppelbrechenden Kristall, daß der einfallende, nicht polarisierte Lichtstrahl in zwei zueinander senkrecht polarisierte Strahlen, die dem ordentlichen und außerordentlichen Strahl bei Kristallen entsprechen, zerlegt wird, deren Polarisations Ebenen der Hauptspannungsrichtungen entsprechen. Genau wie im Kristall, der zur optischen Achse parallel geschliffen ist, erleiden beide Strahlen Verzögerungen, die der Größe der zugehörigen Spannung proportional sind. Die entstehende Gangdifferenz wird als Interferenz wahrgenommen und ruft bei einfarbigem Licht Aufhellung des Bildes zwischen gekreuzten Nikols, bei weißem Licht Farbeneffekte hervor, die zur Messung benutzt werden können. Die gemessene Gangdifferenz ist durch die Gleichung gegeben:

$$R = C (P - Q) T,$$

wo  $R$  die Gangdifferenz,  $C$  eine Materialkonstante,  $P$  und  $Q$  die Hauptspannungen und  $T$  die Dicke des Präparates bedeuten. Was direkt gemessen werden kann, ist also immer nur die Differenz der Hauptspannungen. Sind die beiden Hauptspannungen

gleich, besteht die Spannung also in einer reinen Kompression oder Dilatation, so bleibt der optische Effekt aus. Mit Hilfe der Methode kann also nur dann die Spannung direkt abgelesen werden, wenn die eine Hauptspannung bekannt ist. Dieses ist nun der Fall an der Oberfläche eines Körpers, wo die eine Hauptspannung senkrecht zur Oberfläche und gleich Null ist (da auf die Oberfläche ja keine senkrechten Kräfte wirken), und die andere Hauptspannung, die somit direkt bestimmt werden kann, deshalb parallel zur Oberfläche ist. Wenn auch die Unmöglichkeit, allgemein den Spannungszustand zu messen, eine empfindliche Einschränkung für die Anwendungsmöglichkeit der Methode bedeutet, spielen die Spannungsverhältnisse an der Oberfläche in den Konstruktionen eine besondere Rolle, weil dort meistens die Gefahrpunkte der Konstruktion liegen, die somit für die ganze Konstruktion bis zu einem gewissen Grade ausschlaggebend sind. Auch lassen sich in vielen Fällen durch Verfolgung der Farbenreihenfolge u. dgl. m. zuverlässig

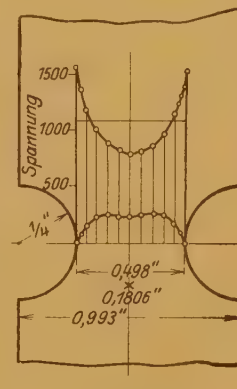


Fig. 2. Längsspannungen in einem ebenen von beiden Seiten halbkreisförmig ausgeschnittenen Zerrißkörper nach Messungen von Coker.

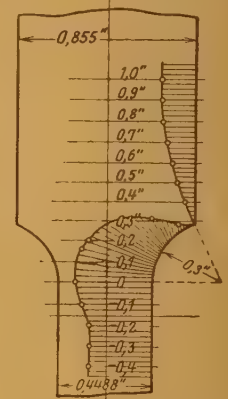


Fig. 3. Der senkrechte Abstand der Kurve vom Rande (in Richtung der Schraffierung) gibt die Tangentialspannungen an den betreffenden Stellen an.

sige Angaben über die Spannungen im Innern des Körpers machen.

Eine weitere Schwäche der Methode besteht darin, daß sie nur so lange eindeutige Resultate liefert, als die Gangdifferenz nicht eine ganze Wellenlänge übertrifft; jedoch läßt sich diese Schwierigkeit beseitigen, entweder durch Abzählen der Farbeneffekte oder auch, in den Fällen, wo es in erster Linie auf die geometrische Spannungsverteilung im Körper ankommt, durch Beschränkung auf Spannungsgrade, die keine zu großen Gangdifferenzen hervorrufen. Ferner läßt sich die Methode direkt nur zur Untersuchung ebener Spannungszustände anwenden, während die meisten technischen Probleme räumliche Spannungsverteilungen betreffen.

In Fig. 1 ist die optische Anordnung, wie sie in den Laboratorien der General Electric Company aufgestellt ist, wiedergegeben. Auf Einzelheiten soll hier nicht eingegangen werden. Es sei nur erwähnt, daß *Coker* als eine besonders bequeme Meßmethode die Kompensation der an der gemessenen Stelle des Körpers entstehenden Gangdifferenz durch Dahinterlegen eines zweiten Körpers (Streifens), in dem durch eine einfache, leicht angebbare Spannung die entgegengesetzte Gangdifferenz erzeugt wird, empfiehlt.



Als Beispiele für die Anwendung der Methode seien einige Beobachtungen an Zerreißkörpern angeführt. Es ist bekannt, daß die gefundenen Werte der Zerreißfestigkeit von der Form des Zerreißstabes abhängen, und deshalb ist die für die Bestimmung der Zerreißfestigkeit bestimmte Stabform genau *normiert*. In Fig. 2 sind nun die Längsspannungen in einem ebenen, von beiden Seiten halbkreisförmig ausgeschweiften Zerreißkörper nach Messungen von *Coker* dargestellt. Man sieht, daß die Spannungsverteilung in verjüngtem Querschnitt nicht mehr gleichmäßig ist, und daß an seinem Rande erheblich erhöhte Spannung herrscht. Das ist ein Fall der *Kerbwirkung*, die bekanntlich leicht zu Zerstörungen von Konstruktionsteilen führt. Ähnliche Verhältnisse, wenn auch in schwächerem Maße, liegen an dem Übergang zum Einspannteile des Zerreißkörpers vor. Auf Fig. 3 sind die tangentialen Spannungen an der Oberfläche des Zerreißkörpers angedeutet. Auch in diesem Fall herrscht an dem konkaven Begrenzungsteile eine erhöhte Spannung. Bei spröden Materialien kann dieselbe leicht zu Brüchen an dieser Stelle führen, wie es auch die Erfahrung zeigt. Mit zunehmender Krümmung des konkaven Teils nimmt die Größe der gefährlichen Grenzspannungen zu. Auch das ist ein Beispiel der gefährlichen *Kerbwirkung*. Es zeigt auf das deutlichste die dem Konstrukteur wohlbekannte Gefahr der *einspringenden Winkel*. Wegen dieses Umstandes ist es stets bedenklich, einen Konstruktionsbestandteil, zum Beispiel eine Zugstange, durch *lokale Verdickung* sichern zu wollen, weil an den konkaven Teilen an den Enden der Verdickung dadurch umgekehrt eine Gefährdung des Materials erfolgt.

Masing.

### Besprechungen\*).

**Eucken, Arnold, Grundriß der physikalischen Chemie.**  
Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft, 1922.  
VIII, 492 S. und 95 Abbild. 8°. Preis geh.  
M. 220,—, geb. M. 270,—.

Lehrbücher sind die Marksteine in der Geschichte einer Wissenschaft. Zwar kommt nicht allen Lehrbüchern, die aufgelegt und neu aufgelegt werden, eine solche geschichtliche Bedeutung zu, aber doch denen, die den Anspruch erheben dürfen, eine führende Stellung einzunehmen, die also nicht bloß den Studierenden im engeren Sinne zur Nachhilfe, sondern allen in der Wissenschaft tätigen und ihr verbundenen Leuten zur Förderung dienen. Nun wird das vorliegende Buch auf seinem Titelblatt bescheiden bezeichnet als bestimmt „für Studierende der Chemie und verwandter Fächer“; ich stehe aber nicht an, es sofort in jene andere Gruppe einzureihen und in dem neuen Grundriß ein Ereignis zu begrüßen.

Die große Epoche, die in den achtziger Jahren des verflossenen Jahrhunderts durch den Einzug der Thermodynamik in die Chemie eingeleitet wurde, brachte die beiden Lehrbücher von *Wilh. Ostwald* und *W. Nernst* hervor, die seither in Deutschland und in der Welt bestimmend waren für Sinn und Wesen der physikalischen Chemie. Namentlich das Lehrbuch von *Nernst*, von seinem unermüddlichen Verfasser bei jeder Neuauflage<sup>1)</sup> dem Fortschritte sorgfältig angepaßt, war

während eines Menschenalters auf alle Jünger dieser Wissenschaft von bestimmendem Einfluß. Nun pflegt aber der erste Wurf das Gepräge eines Buches dauernd festzulegen. Es versucht, bei Neuauflage mit der Zeit im allgemeinen dadurch Schritt zu halten, daß es dickleibiger wird. Das kann nicht immer so weiter gehen. Die Wissenschaft als ein lebendiger Organismus muß sich verjüngen. Das kann nicht anders geschehen, als so, daß sie vergift, abstößt, liegen läßt und sich zusammenzieht auf die jeweils lebendigen Punkte. So kommt es denn, daß der Plan einer Wissenschaft nach gewissen Zeiträumen ganz neu, ganz originell aufzu-reißen ist. Wann es dazu an der Zeit ist, mag im Einzelfalle schwer zu entscheiden sein. Ich glaube, wir haben in unserer Wissenschaft schon länger das Gefühl gehabt, daß es schon jetzt oder doch bald dazu würde kommen müssen. Bereits ist vor etlichen Jahren in England ein von *William Mc. C. Lewis*<sup>2)</sup> verfaßtes Lehrbuch der physikalischen Chemie erschienen, das durch Modernität im obigen Sinne bemerkenswert war. Zweifellos ist vielfach erwogen worden, eine deutsche Übersetzung dieses Werkes zu veranstalten. Eine solche Absicht wäre nun — das darf man wohl sagen — durch die Herausgabe des Grundrisses von *Eucken* überflüssig geworden. Denn an Konzentration auf den augenblicklichen Bedarf wetteifert die Darstellung *Euckens* mit derjenigen des englischen Kollegen, übertrifft sie aber an geschlossener Form. Ist doch ein kompendiös-systematischer Stil der alte Vorzug der deutschen Lehrbuch-Literatur gegenüber der mehr lose aneinander reihenden, kasuistisch-eklektischen Manier der Engländer.

Es sind drei wichtige Fortschritte, die fast gleichzeitig, etwa um 1905, das frühere Gefüge der physikalischen Chemie erweiterten und umgestalteten. Dies waren: der Beweis der kinetischen Molekulartheorie durch die Dispersoide, die Krönung der Thermodynamik durch das Theorem von *Nernst* und der Einzug der Quanten in die Lehre vom Bau der Materie. Namentlich die Quantenlehre sprengte den alten Rahmen. Während z. B. das Lehrbuch von *Nernst* wesentlich in zwei Hälften zerfällt, deren eine durch die Molekulartheorie, deren andere durch die Thermodynamik bestimmt ist, was sich schon im Untertitel des Buches „vom Standpunkt der Avogadroschen Regel und der Thermodynamik“ — statt „Avogadrosche Regel“ könnte füglich „Molekulartheorie“ stehen — ausspricht, sehen wir sowohl bei *Mc. C. Lewis* als nun auch bei *Eucken* eine Dreiteilung durchgeführt, die bei ersterem ganz einfach „Kinetic Theory, Thermodynamics, Quantum Theory“ heißt, während bei *Eucken* unterschieden wird: „physikalische Wärmelehre, chemische Wärmelehre, Aufbau der Materie“. Die beiden ersten Abschnitte entsprechen der alten klaren Ostwaldschen Einteilung der theoretischen Chemie in Stöchiometrie und Verwandtschaftslehre, während der dritte Abschnitt nun eben den ganz modernen Zuwachs aufzunehmen bestimmt ist.

Dieser Zuwachs ist uns ganz und gar aus dem Bereiche physikalischer Forschung zugeflossen. Wir haben daher noch einmal und noch mehr als beim Einbruch der Energetik den Eindruck, daß die theoretische Chemie unter physikalische Führung gelangt ist. Die Bezeichnung „physikalische Chemie“ datiert von der

\*.) Die Preise der Bücher sind ohne die Teuerungszuschläge eingesetzt.

<sup>1)</sup> *W. Nernst, Theoretische Chemie.* 8. bis 10. Aufl. Stuttgart, Enke, 1921, S. 896. — Besprechung von *M. Bodenstein* i. d. Naturwissensch. Bd. 9, 855 (1921).

<sup>2)</sup> *W. Mc. C. Lewis, A System of physical Chemistry.* 3. Vol. Longmans Green Co., London. 2nd. Edition. 1919.

Gründung der „Zeitschrift für physikalische Chemie“, von der in diesem Jahre der 100. Band gedruckt wurde, durch Ostwald im Jahre 1887. Allein weder Ostwald selbst noch Nernst wollten ihre Lehrbücher als solche der „physikalischen Chemie“ ausgeben. Denn man hatte guten Grund, den Eindruck vermeiden zu sehen, als ob es sich um eine neue hybride Gattung und um eine periphere Grenzmark handelte. Dessen ungeachtet hat sich die Spitzmarke: „physikalischer Chemiker“ überall durchgesetzt. Es gibt nirgends eine Professur für theoretische Chemie. Diese Leute heißen vielmehr offiziell: „physikalische Chemiker“. In unumwundener Anerkennung dieser nun einmal bestehenden Verhältnisse betitelt jetzt Eucken seinen Grundriß als einen „der physikalischen Chemie“. Er sieht sich zu dieser Namengebung um so mehr veranlaßt, als wir im Vorwort darüber Aufschluß erhalten, aus welchem Beweggrund heraus das Werk entstanden ist. Wir brauchen, sagt der Verfasser, noch mehr Physik; wir brauchen die neueste Physik. Somit werde „eine Ergänzung des dort Gebotenen“ — nämlich in den vorhandenen Lehrbüchern der allgemeinen Chemie — „als wünschenswert empfunden“. Das Lehrbuch von Nernst ist ja nicht veraltet; weit entfernt davon; Eucken muß sein eigenes Unternehmen rechtfertigen, dieses tut er so, daß er geradezu die Vermittlung physikalischer Lehren als Zweck seines Buches bestimmt. Diese Begründung ist wieder bescheiden. Indessen wiederhole ich, daß es dem Verfasser vermutlich gelungen ist, über seine unmittelbare Absicht und Veranlassung hinaus seinem Werk eine weitergehende Bedeutung zu geben. Es wird hier der physikalischen Chemie ein neues Gewand gewoben.

Besehen wir es mit raschem Blick, so tritt uns deutlicher als je ins Bewußtsein, daß die Physik erst in der Chemie recht eigentlich sich auswirkt. Und diese physikalisch durchgeistete Chemie hat die Kraft, die stellare, geologische und biologische Naturgeschichte zu erleuchten. Auf ihrer letzten Tagung, die in Verbindung mit der Leipziger Naturforscherversammlung stattfand, durfte die deutsche Bunsengesellschaft sich die Ehre geben, die naturhistorischen Anwendungen der physikalischen Chemie zu ihrem von Haber vorbereiteten Verhandlungsthema zu erküren.

Wie kommt es, daß trotzdem die physikalische Chemie oft wie eine Sonderblüte erscheint? Daher kommt es, daß die Großzahl der in Wissenschaft und Technik arbeitenden Chemiker von der präparativen Chemie aufgesogen werden und daß diese für gewöhnlich nur eines recht geringfügigen theoretischen Rüstzeuges bedarf. Man muß leider gestehen, daß die zunehmend physikalische Ausgestaltung der theoretischen Chemie, wovon das vorliegende Buch sprechendes Zeugnis ablegt, geeignet ist, die Wege der Ausbildung der „reinen“ oder präparativen Chemiker von denen der theoretischen oder physikalischen eher zu trennen als beide zusammenzuführen. Wenn Eucken mit seinem Buch „speziell an Studierende der Chemie“ sich wendet, so soll es mich freuen, wenn er damit Erfolg hat; ich fürchte jedoch, daß sein Leserkreis wegen der immer höher gehenden Anforderungen speziell auf Beflissene der physikalischen Chemie beschränkt bleiben möchte.

Daß diesen allen der neue Grundriß angelegentlich zu empfehlen sei, brauche ich ausdrücklich kaum noch zu versichern. Ich habe ja nur deswegen so weit ausgeholt, um die Stellung, die das Buch in der Literatur

der Gegenwart einnehmen wird, als eine ausgezeichnete anzuerkennen.

Kürzer will ich mich fassen bezüglich der Individualität des Werkes. Seine Mache ist bestimmt durch ein Streben nach größter Ökonomie und Platzersparnis. Schon ein äußerlicher Umstand läßt dies erkennen. Das Buch enthält 312 fortlaufend nummerierte Formeln. Für die Formelzeichen gibt es einen Schlüssel, der für das ganze Buch ein für allemal gilt. Hierdurch wird natürlich die Rückbeziehung ganz bedeutend erleichtert und eine zuverlässige Orientierung erreicht. Dies und eine peinliche Präzision im verbalen wie im mathematischen Ausdruck gestatten dem Verfasser, den Stoff in äußerster Gedrängtheit darzustellen. Sein Grundsatz ist, mit keinem Wort über das Notwendige und Hinreichende hinaus zu gehen.

Hiermit verträgt sich aber nur eine Art des Vortrages: das ist die dogmatische. Eucken gönnt sich nicht den Raum für einführende und vorbereitende Bemerkungen; er kann die Fülle des Stoffes auf fünfhundert Seiten nur dann meistern, wenn er sogleich mit dem Fertigen beginnt. Das erste Gebot des Lehrers, niemals vorzugreifen, wird unbedenklich verletzt. Induktives und historisch-kritisches Verfahren fallen vollständig fort. Man sieht: das Buch wendet sich an Leser, die bereits eingeführt sind. Für Autodidakten möchte es sich kaum eignen.

Mir scheint es, daß in dieser Haltung ein Kennzeichen des Wissenschaftsbetriebes unserer Tage zum Ausdruck kommt. Vor einem Menschenalter konnte man der Meinung sein, daß die Vorlesungen mehr und mehr gleichgültig, ja überflüssig würden, und daß der persönliche Unterricht bei verbesserter didaktischer Methodik der Lehrbücher durch Buchstudium verdrängt würde. Das Gegenteil davon ist eingetreten. Die Vorlesungen haben an Wichtigkeit wieder zugenommen, und bewußt stützt sich auf sie die Kompendienliteratur. Denn die Kompendien müssen entlastet werden. Sie haben keinen Platz für Einleitungen, Beispiele, Geschichten und den langsamen Anstieg vom Einfachen zum Zusammengesetzten, vom Anschaulichen zum Abstrakten, vom Teil zum Ganzen nach den Regeln der Didaktik. Für all das soll der Vortrag über das Kolloquium, das ebenfalls in reiche Blüte gekommen ist, vorsorgen. Dann kann der Stil des Lehrbuches ein freier werden; es kann mit Abkürzungen arbeiten und so auf gleichem Raum eine weit größere Fülle von Ergebnissen beherbergen.

Unnötig zu versichern, daß in Euckens Grundriß die neueste Fachliteratur bis auf den letzten Tag mit Umsicht und sicherer Stoffbeherrschung verarbeitet ist. Hinzufügen aber will ich noch, weil für ein Lehrbuch auch von Wichtigkeit, daß der Druck sorgfältig und fast ganz fehlerfrei ist.

Emil Baur, Zürich.

Ebert, H., Lehrbuch der Physik. 2. Bd. 1. Teil. Die elektrischen Energieformen. Berlin u. Leipzig, Vereinigung wissenschaftlicher Verleger, Walter de Gruyter & Co., 1920. XX, 685 S. Preis: geh. M. 65,—; geb. M. 75,—.

Der erste Band dieses Lehrbuches, der Mechanik und Wärmelehre umfaßt, ist 1912 erschienen. Der zweite Band hat sich bei Eberts Tode zu etwa  $\frac{2}{3}$  vollendet vorgefunden. C. Heinke in München hat die Ergänzung und Fertigstellung übernommen. Das Ebertsche Buch ist aus der Überzeugung entstanden.



daß der Physikunterricht an einer technischen Hochschule durchaus anders betrieben werden müsse, als an einer Universität. *Ebert* bezweckt, dem Leser wie dem Hörer seiner Vorlesungen diejenigen physikalischen Kenntnisse zu bringen, die nachher in den technischen Fachvorlesungen vorausgesetzt werden. *Ebert* gruppiert den Stoff um die allgemeinen Begriffe, die in der technischen Anwendung der Physik die Hauptrollen spielen, nämlich Energie und Entropie. Er bringt zahlreiche Rechenbeispiele, die für die Anwendungen notwendig sind. Auswahl und Behandlung des Stoffes und die Erläuterung des Textes durch Bilder weichen in vielem von den üblichen Lehrbüchern der Physik ab. Doch ist auch hin und wieder ein Zopf beibehalten: So wird der Einfluß der Dämpfung auf die Resonanzbreite erst bei den elektrischen Schwingungen gebracht, statt bei den mechanischen, wo er sich doch mit besonders eindrucksvollen Versuchen erläutern läßt. Der Inhalt des Buches ist ganz ungemein reichhaltig, das Buch ist durchaus zu empfehlen, auch als kurzes Nachschlagewerk für den Physiker. — Unter den vielen historischen Hinweisen überrascht die Angabe, die die Lichtempfindlichkeit des Selen *Hittorf* 1852 zuschreibt, während sonst stets *Smith* und *May* 1873 genannt werden.

R. Pohl, Göttingen.

## Astronomische Mitteilungen.

**Die Massen und Dichten der Sterne.** Wie zahlreiche in jüngster Zeit in den Fachzeitschriften veröffentlichte Arbeiten zeigen, hat sich das Interesse der Astronomen in besonderem Maße der Frage nach der Größe der Sternmassen zugewandt. In gewisser Hinsicht ist dies eine ganz natürliche Entwicklung, da für die Erforschung des Weltalls in mechanischer sowie in physikalischer Beziehung nicht nur die Kenntnis der Koordinaten und Geschwindigkeiten der Himmelskörper, ihrer absoluten Helligkeiten und Farben, sondern auch die Bestimmung ihrer Massen als notwendig erachtet wird. Andererseits haben die theoretischen Untersuchungen von *Eddington* über die Konstitution und die Entwicklung der Sterne gelehrt, daß für den inneren Aufbau der Sterne die Größe der Masse von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Leider ist zurzeit die Zahl bekannter, aus den Beobachtungen direkt gefolgter Sternmassen noch sehr dürftig. Unsere Kenntnis über sie fußt auf denen der Doppelsternsysteme. Die spektroskopischen Beobachtungsergebnisse lassen die Neigung der Bahnebene im Raume unbestimmt; bei den visuellen Doppelsternen erweist sich zur Bestimmung der Bahnverhältnisse des Systems und damit auch ihrer Massen die Kenntnis ihrer Entfernung als notwendig. Nur wenn von einem Doppelsternsystem visuelle und spektroskopische Beobachtungen vorliegen — was in den aller seltensten Fällen vorkommt —, ist das System samt seiner Parallaxe vollständig bestimmt. Will man schon jetzt trotz des spärlichen Materials an sicher bestimmten Sternmassen Zusammenhänge zwischen den physikalischen Eigenschaften der Sterne, z. B. zwischen Masse, absoluter Helligkeit und Spektraltypus nachweisen, so wird man sich statistischer Methoden bedienen, welche an plausibel erscheinende Voraussetzungen allgemeiner Natur anknüpfen.

So hat *H. von Zeipel* die Massen der Sterne verschiedenen Typus aus ihrer Verteilung in den Stern-

haufen zu errechnen versucht<sup>1)</sup>. *v. Zeipel* nimmt an, daß die Einzelsterne nach dem Maxwellschen Gesetze in dem Haufen verteilt seien. Dann muß die Anhäufung der Sterne gegen die Mitte der Gruppe von ihrer Masse abhängen. Die schweren Gestirne werden relativ mehr gegen das Zentrum angehäuft sein als die leichteren. Aus der verschiedenen Konzentration in der Sterngruppe läßt sich umgekehrt die Masse der einzelnen Sterntypen finden. Abzählungen an Messier 37 ergaben als Masse der gelben Riesen 6,0, der weißen B- und A-Sterne 2,8 und der gelbweißen Zwerge 1,9, wenn die Masse der gelben Zwerge gleich der Einheit angenommen wird. Nach der Theorie von *Eddington* können unter den gelben Riesensternen sowohl große als auch kleine Massen vorkommen. Dasselbe gilt von den gleichfarbigen Zwergen. Nur die weißen Sterne müssen nach der Theorie verhältnismäßig große Massen besitzen. Um nun die Divergenz in den Massen der Riesen und Zwerge zu erklären, kann man annehmen, daß die Sterne des Haufens als zusammengehörig gleichzeitig entstanden sind. Die großen Massen verbleiben noch im Riesenstadium; die kleinen haben ihre Entwicklung rascher durchlaufen und schon den Zwergzustand erreicht. Eine andere mögliche Erklärung wird durch die Relativitätstheorie gegeben, nach der mit dem allmählichen Verlust an Strahlungsenergie im Laufe der Entwicklung auch ein Verlust an Masse verbunden ist.

Der große Wert der Arbeit *v. Zeipels* liegt weniger in den mittleren Massenwerten, als in der glänzenden Übereinstimmung zwischen Theorie und Erfahrung. Diese Tatsache muß als ein Kriterium betrachtet werden, daß die Hypothese, nach welcher die Maxwellsche Verteilung in dem Sternhaufen herrscht, richtig ist.

*F. H. Seares* knüpft in seiner Arbeit *The Masses and densities of the stars* (*The Astroph. Journ.* 55, Nr. 3) an die Beobachtungsergebnisse für die visuellen Doppelsterne an und versucht auf Grund gewisser Hypothesen das durch sie gegebene System von Massen auf alle möglichen Spektraltypen und absoluten Helligkeiten auszudehnen. Sein besonderes Ziel ist, die Abhängigkeit der Masse und Dichte eines Sterns von seiner absoluten Helligkeit und von seinem Spektraltypus nachzuweisen.

Die Arbeit von *Seares* basiert auf Untersuchungen von *Jackson* und *Furner* (*Monthly Notices* 81, 1920), welche für 550 Doppelsternsysteme hypothetische Parallaxen berechnet, indem sie als wahrscheinlichste Gesamtmasse jedes Systems die doppelte Sonnenmasse annehmen. Die Sterne gehören zumeist dem Zwergarm des Russelschen Diagrammes einschließlich der frühen B- und A-Sterne an. Den Gang der mit Hilfe dieser hypothetischen Parallaxen berechneten absoluten Helligkeiten mit dem Spektraltypus vergleicht *Seares* mit dem durch die absoluten Helligkeiten einer großen Zahl von Einzelsternen angezeigten, wie sie uns in der Liste der spektroskopischen Parallaxen von *Adams, Joy, Strömberg* und *Burnell* vorliegen: für 430 Heliumsterne wurden die von *Kapteyn* bestimmten Parallaxen benutzt. Ob die Einzelsterne und die Doppelsternsysteme in ihrer Gesamtheit die gleichen Charakteristiken hinsichtlich ihrer Auswahl aufweisen, wird noch besonders an den Doppelsternen bekannter Parallaxe geprüft. Für die mittleren absoluten Helligkeiten der Einzelsterne im Zwergstadium findet *Seares*:

<sup>1)</sup> Vgl. Naturwissenschaften, Jahrgang 1921, S. 842.

|   | B 0   | B 5   | A 0   | A 5   | F 0   | F 5   | G 0   | G 5   | K 0   | K 5   | Ma    |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| M | -1,60 | -0,20 | +0,70 | +1,50 | +2,40 | +3,32 | +4,35 | +5,20 | +5,50 | +7,10 | +9,80 |
| M | 10    | 8,3   | 6,0   | 4,0   | 2,5   | 1,5   | 1,0   | 0,76  | 0,63  | 0,62  | 0,59  |

Aus dem Unterschied des Ganges der absoluten Helligkeit mit dem Spektraltypus für Einzel- und Doppelsterne lassen sich dann die mittleren Massen der letzteren gemäß dem dritten Keplerschen Gesetz bestimmen. Nimmt man an, daß die Masse der zweiten Komponente des Doppelsternsystems im Mittel gleich  $\frac{1}{4}$  derjenigen der Hauptkomponente ist, so ergeben sich als mittlere Massen der Einzelsterne, ausgedrückt in Einheiten der Sonnenmasse, die in der dritten Zeile der obigen Tabelle stehenden Werte. Die durchschnittliche Masse der Sterne auf dem Zwergast des Russelldiagrammes nimmt kontinuierlich mit fortschreitendem Spektraltypus ab.

Um die Massenbestimmung auch auf Sterne wesentlich verschiedener absoluter Helligkeit, insbesondere auf die Sterne im Riesenstadium auszudehnen, benutzt *Seares* das Prinzip der Gleichteilung der Energie. Kombiniert man nämlich die mittleren Raumgeschwindigkeiten aller Sterne eines Spektraltypus mit der mittleren Masse, so ergibt sich das bemerkenswerte Resultat, daß die mittlere kinetische Energie auf dem Zwergarm konstant, d. h. unabhängig vom Spektraltypus ist. Läßt man dies Prinzip auch für die Riesensterne gelten, so lassen sich aus den bekannten Raum- bzw. Radialgeschwindigkeiten die Massen verschieden absolut heller Sterne jeglichen Spektraltypus berechnen. Auf diese Weise erhielt *Seares* in einem Diagramm Kurven konstanter Masse, welche die absolute Helligkeit als Funktion des Spektraltypus geben. Diese Kurvenzüge sind höchst unregelmäßige Gebilde. Wenn also ein Riesenstern in seiner Entwicklung solch einer Massenlinie folgt, so bleibt seine Leuchtkraft während des Riesenstadiums nicht konstant, wie *Eddington* aus seiner Theorie schloß; vielmehr nimmt die absolute Helligkeit vom Ma-Riesenstadium ab bis zu einem Minimum zwischen dem K 0- und K 5-Stadium, um dann wieder zu einem Maximum im G 0-Stadium anzusteigen. Darauf folgt wieder ein steiler Abfall nach der Linie der maximalen Häufigkeit der Zwerge. Die Maxima und Minima sind in den Massenlinien um so weniger ausgeprägt, je kleiner die Masse ist.

Der Verlauf dieser extrapolatorisch gemäß dem Prinzip der Äquipartition erhaltenen Massenlinien erfuhren nachträglich eine geringfügige Berichtigung nach einer Formel, welche die Masse eines Cepheiden mit seiner Periode, seiner absoluten und seiner Flächenhelligkeit verbindet.

Die mittlere Dichte eines Sterns hängt in einfacher Weise von seiner Masse und von seinem Radius ab, welcher letzterer durch die absolute und Flächenhelligkeit des Sterns bestimmt ist. Die Flächenhelligkeit wird aus der effektiven Temperatur bei Anwendung der Stefanschen oder Planckschen Strahlungsformel hergeleitet. Wenn daher die Masse eines Sterns als Funktion seiner absoluten Helligkeit und seines Spektraltypus bekannt ist, so ist dies auch für die Dichte des Sterns der Fall. Die Linien gleicher Dichte in dem Massenliniendiagramm sind Gerade, welche annähernd parallel zueinander und zu der Linie der maximalen Häufigkeit der Zwergsterne verlaufen. Für die Giganten wurden die Linien gleicher Dichte auf

Grund der Dichtewerte von 28 Cepheiden, berechnet aus ihren Perioden, berichtigt. Für die Zwerge der Spektraltypen B bis F sind die *Seares*schen Werte der Dichte in guter Übereinstimmung mit den von *Shapley* für die Dichten der Bedeckungsveränderlichen gleichen Typus gefundenen. Für die Zwerge nimmt die Dichte von 0,045 bis 5,4 (Dichte des Wassers gleich der Einheit) zu, wenn sich der Spektraltyp von B 0 nach Ma verschiebt; für die Giganten von der absoluten Helligkeit 0<sup>m</sup>,0 sind die entsprechenden Änderungen 0,3 bis 10<sup>-5</sup>.

Die Einzelwerte der Masse, berechnet für die visuellen Doppelsterne bekannter Parallaxe und für die 28 Cepheiden, geben eine geringe wahrscheinliche Dispersion in der Masse für eine gegebene absolute Helligkeit und für einen festen Spektraltypus. Dies Resultat scheint in Evidenz zu setzen, daß im allgemeinen die Leuchtkraft eines Sterns durch seine Masse und durch seinen Spektraltypus ziemlich eindeutig bestimmt ist.

Daß die Masse der Sterne auf dem Zwergaste der Entwicklungsreihe mit fortschreitendem Spektraltypus abnimmt, läßt sich einmal durch die Verschiedenheit in der Auswahl erklären: die frühen und absolut hellen Sterne werden in einem weiteren Raum beobachtet, als die späten Zwerge, welche nur in einem beschränkten Teil des Raumes nahe der Sonne gesehen werden. Die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens großer Massen wird daher für letztere wesentlich kleiner sein als für die hellen B- und A-Sterne. Andererseits wird die durchschnittliche Masse der frühen Sterne gemäß der *Eddington*schen Theorie wesentlich größer sein als die der späten Typen, weil nur sehr massige Sterne die hohen Temperaturen der Heliumsterne erreichen können. Schließlich kann man auch an eine Abnahme der Masse in der fortschreitenden Entwicklung eines Sterns infolge des Verlustes von Strahlungsenergie denken, wenn im Sinne der Relativitätstheorie jede Form von Energie Masse besitzt.

Die Änderungen der absoluten Helligkeit mit dem Spektraltypus auf dem aufsteigenden Aste der Entwicklungsreihe sind schwierig zu erklären. Nach der *Eddington*schen Theorie sollte die Leuchtkraft eines Sterns während des Riesenstadiums konstant bleiben. Änderungen im mittleren Atomgewicht der den Stern aufbauenden Gase während seiner Entwicklung genügen nicht zur Erklärung. Wahrscheinlich kommt die verschiedenartige Durchlässigkeit der Sternatmosphären während der einzelnen Stadien der Entwicklung in Betracht. Nach der *Eddington*schen Theorie ist die Zunahme der Mittelpunkttemperatur im Riesenstadium zehnmal so groß als die der effektiven Temperatur. Die Dicke der strahlenden Schicht muß daher bei einem roten Riesen wesentlich größer sein als bei einem Heliumstern. Wenn also die Entwicklung eines Sterns vom M-Riesen zum B-Stern fortschreitet, erfolgt die Ausstrahlung fortschreitend aus weniger tiefen Schichten der Atmosphäre. Wenn dies auch als Folge einer Zunahme der Dichte in homologen Punkten der Atmosphäre zu deuten ist, so bleibt von vornherein nicht ausgeschlossen, daß auch der Massenabsorptionskoeffizient im Laufe der Entwicklung eines



Sterns Änderungen erleidet. Nicht weniger hypothetisch, wenn auch sehr wahrscheinlich, ist das Vorhandensein von anderen Energiequellen, als die der Gravitationsenergie im Innern eines Sterns, deren Auslösung zeitliche Änderungen in der Leuchtkraft des Sterns bedingen wird.

Wenn auch die Seareschen Resultate mit der von Eddington aus seiner Theorie gezogenen Folgerung hinsichtlich der Konstanz der Leuchtkraft während des Riesenstadiums in Widerspruch zu stehen scheinen, befinden sich die aus der Theorie berechneten Änderungen der Leuchtkraft eines Sterns mit der Masse für einen festen Spektraltypus in guter Übereinstimmung mit den beobachteten Werten.

H. N. Russel diskutiert in seiner Arbeit *On the calculation of masses from spectroscopic parallaxes* (The Astrophys. Journ. 55, Nr. 3) das Searesche Resultat, daß die Dispersion in der Masse klein ist, d. h. daß die Masse eines Sterns ziemlich eindeutig durch seinen Spektraltypus und seine absolute Helligkeit bestimmt ist, und macht den Einwand, daß dies eine notwendige Folge des ganzen Untersuchungsverfahrens ist. Es erscheint wahrscheinlich, daß die Linienintensitäten, auf welchen die spektroskopischen Parallaxen basieren, von der Temperatur und der Dichte in den Sternatmosphären abhängen. Alle Sterne der gleichen Flächenhelligkeit und Dichte werden danach dieselbe spektroskopische absolute Helligkeit besitzen. Damit werden auch die Massen, welche aus spektroskopischen Parallaxen bestimmt sind, für alle Sterne solch einer Gruppe identisch sein, wie verschieden auch ihre wirklichen Massen sind. Es scheint daher ein Fehlschluss vorzuliegen, will man aus der spektroskopischen absoluten Helligkeit eines Sterns auf seine Masse schließen. Dann müssen aber auch die spektroskopischen Parallaxen für Sterne kleinerer oder größerer Masse als der Durchschnittsmasse systematisch falsch sein. Strömbergs Vergleich der trigonometrischen und spektroskopischen Parallaxen bestätigt dies nicht, so daß das Searesche Resultat bestehen bleibt.

**Über die Häufigkeit des Vorkommens von Sternen verschiedener Masse.** (E. v. d. Pahlen, Astr. Nachr. Nr. 5176.) Eine wertvolle Ergänzung zu den Untersuchungen von F. H. Seares und von H. v. Zeipel über die Massen der Sterne bildet der genannte v. d. Pahlen'sche Aufsatz über die Häufigkeit ihres Vorkommens. Das Ausgangsmaterial sind zwei durch die Beobachtung gegebene Zahlenreihen, von denen die erste die Anzahl der Sterne in den verschiedenen Spektralklassen bis zu einer gewissen Grenzhelligkeit umfaßt; die zweite Zahlenreihe bilden die mittleren Radialgeschwindigkeiten der Sterne der verschiedenen Spektraltypen.

Inwiefern diese beiden Zahlenreihen wesentlich davon abhängen, wie häufig die Sterne verschiedener Masse im Raume auftreten, leuchtet sogleich ein, wenn man sich auf den Standpunkt der modernen Russelschen Theorie über die Sternentwicklung stellt. Nach ihr führt bekanntlich der Entwicklungsgang eines Sterns im aufsteigenden Linie von einem M-Riesen zu einem heißen B-Stern und dann in absteigender Linie zum M-Zwerg. Insbesondere ist gemäß der Eddingtonschen Theorie des Strahlungsgleichgewichtes das Erreichen eines gewissen Spektraltadiums in dem aufsteigenden Entwicklungsgange abhängig von dem Vorhandensein einer rechnerisch bestimmmbaren Minimalmasse des Sterns. Die Spektralklasse B wird daher ausschließlich aus Sternen sehr großer Masse bestehen,

da Sterne geringerer Masse nicht das durch sie gekennzeichnete Entwicklungsstadium erreichen können, vielmehr schon vorher in ihrem Entwicklungsgange umkehren. Von vornherein selbstverständlich erscheint es — will man überhaupt auf Grund dieser Anschauungen von einer Häufigkeitsfunktion der Sternmassen sprechen — anzunehmen, daß das Sternsystem sich in einem stationären Zustand befindet, d. h. daß die Anzahl der jederzeit in jeder Spektralklasse sichtbaren Sterne jeder Masse zeitlich konstant bleibt.

Von der Gesamtzahl der Sterne mit der Minimalmasse der B-Sterne werden der Spektralklasse B selbst nur soviel angehören, als der relativen Lebensdauer dieser Sterne mit B-Masse im B-Stadium entspricht. Die Spektralklasse A setzt sich zusammen aus Sternen größer, dem B-Stadium zukommender Minimalmasse, welche dieses entweder in aufsteigender Entwicklung noch nicht erreicht oder in absteigender bereits überschritten haben, und aus Sternen kleinerer Masse, für die das A-Stadium den Höhepunkt der Entwicklung darstellt. Von sämtlichen Sternen mit der Minimalmasse der B-Sterne gehören der Spektralklasse A nur soviel an, als der relativen Lebensdauer der Sterne mit B-Masse im A-Stadium entspricht; aus der Gesamtzahl der Sterne mit der Minimalmasse der A-Sterne sind von der Spektralklasse A selbst nur soviel, als der relativen Lebensdauer der Sterne mit A-Masse im A-Stadium entspricht. Die Spektralklassen F, G, K, M haben noch eine wesentlich vielfältigere Struktur. Beispielsweise enthält die Spektralklasse M Sterne von der Minimalmasse des B-, A-, F-, G-, K-, M-Stadiums, und von sämtlichen Sternen mit B-, A-, F-, G-, K-, M-Masse gehören nur soviel dem Spektraltadium M an, als der relativen Lebensdauer der Sterne mit B-, A-, F-, G-, K-, M-Masse im M-Stadium entspricht.

Um die beobachtete Anzahl der Sterne in den verschiedenen Spektralklassen mit der Anzahl der Sterne gleicher Masse, für welche die einzelnen Spektralklassen das höchst erreichbare Stadium bilden, in Beziehung zu bringen, benötigt man noch die Kenntnis der Zeiten (genau genommen der relativen in bezug auf die Gesamtlebensdauer), welche die Sterne verschiedener Masse brauchen, um die einzelnen Spektraltadien zu durchlaufen. Bei dem gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse würde eine bloße Abschätzung dieser Zeiten zu sehr unsicheren Schlüssen hinsichtlich der Häufigkeitsfunktion der Sternmassen führen. In dem genannten Aufsatz zeigt nun v. d. Pahlen, daß sich die in der Unkenntnis des zeitlichen Verlaufs der Sternentwicklung liegende Schwierigkeit durch eine plausible Annahme umgehen läßt. Es sollen nämlich die den Entwicklungsgang eines Sterns durch die Spektraltadien in Abhängigkeit von der Zeit charakterisierenden Kurven für verschiedene Massen ähnlich sein: man kann dann die Verhältnisse der Zeiten, welche der einzelne Stern zum Durchlaufen der aufeinanderfolgenden Spektralklassen braucht, von dem höchsten für einen Stern gegebener Masse erreichbaren Stadium an für alle Sterne gleich setzen. Diese ziemlich plausible erscheinende Annahme genügt, um das Gleichungssystem, welches basiert einmal auf der Anzahl, sodann auf der mittleren Radialgeschwindigkeit der Sterne in den verschiedenen Spektralklassen, in ein eindeutig auflösbares zu verwandeln.

In ganz der gleichen Weise wie die Anzahl der Sterne stehen nämlich auch die mittleren Radialgeschwindigkeiten der verschiedenen Spektraltypen in

enger Beziehung zu der Häufigkeitsfunktion der Sternmassen. Erfahrungsgemäß nimmt die mittlere Radialgeschwindigkeit mit fortschreitender Spektralklasse zu. Diese Tatsache läßt sich dahin deuten, daß die späten Spektralklassen immer mehr Sterne kleiner Masse enthalten, denen nach der Eddingtonschen Theorie die frühen Spektralklassen unzugänglich sind, und daß andererseits die Geschwindigkeit eines Sternes um so größer ist, je kleiner seine Masse ist. Die beobachtete mittlere Radialgeschwindigkeit der Sterne vom Spektraltypus B wird danach entsprechen derjenigen von Sternen mit der Minimalmasse des B-Stadiums. Die mittlere Radialgeschwindigkeit der A-Sterne ist gleich dem arithmetischen Mittel der Radialgeschwindigkeiten zweier Gruppen von Sternen verschiedener Masse, welche sich im A-Stadium befinden, 1. der Sterne mit B-Masse, welche das B-Stadium noch nicht erreicht oder bereits überschritten haben, 2. der Sterne mit A-Masse, für welche das A-Stadium den Höhepunkt der Entwicklung darstellt. In ganz analoger Weise ergeben sich Beziehungen, wenn auch etwas komplizierterer Bauart, für die mittleren Radialgeschwindigkeiten der F-, G-, K-, M-Sterne. Beispielsweise ist die mittlere Radialgeschwindigkeit der M-Sterne gleich dem arithmetischen Mittel der Radialgeschwindigkeiten von sechs Sterngruppen mit Minimalmassen des B-, A-, F-, G-, K-, M-Stadiums, die sich gerade im M-Stadium befinden. Die den Minimalmassen der einzelnen Spektraltypen zukommenden Geschwindigkeiten lassen sich eliminieren, wenn man im Einklang mit den Prinzipien der kinetischen Gastheorie eine Äquipartition der kinetischen Energie annimmt, wonach das Produkt aus Masse und Quadrat der Geschwindigkeit eines Sterns annähernd denselben Wert hat für alle Sterne, gleichviel, wie groß auch die Masse sein mag. Die Minimalmassen selbst, welche zur Erreichung des B-, A-, F-, G-, K-, M-Stadiums erforderlich sind, wurden von Eddington auf Grund der Theorie des Strahlungsgleichgewichtes numerisch, direkt in Einheiten der Sonnenmasse ausgedrückt, bestimmt.

Die Auflösung des auf diesen Überlegungen fußenden Gleichungssystems ergab hinsichtlich der relativen Häufigkeit der Sterne verschiedener Massen das wichtige Resultat, daß unter den bis zur 8. Größenklasse sichtbaren Sternen der größte Teil zu den massigsten gehört, und daß die Zeiten, welche ein Stern zum Durchlaufen der durch die Spektralklassen gekennzeichneten Stadien braucht, recht verschieden sind.

Bei der zuerst durchgeführten Rechnung war die Änderung der Leuchtkraft eines Sternes im Laufe seiner Entwicklung sowie seiner durch die Farbenänderung beeinflussten Sichtbarkeit unberücksichtigt geblieben. Da über erstere vorläufig noch keine sicheren Angaben gemacht werden können — nach Eddington ist im Gigantenstadium die Leuchtkraft eines Sterns konstant — zieht v. d. Pahlen bei einer nochmals durchgeführten Berechnung nur die Änderung der visuellen Größe mit der Farbe in Betracht. Der Einfluß der Farbenänderung mit dem Spektraltyp auf die Häufigkeitsfunktion der Sternmassen besteht darin, daß Sterne von der Grenzhelligkeit 8,0 im F-Stadium mitgezählt sind, während sie beispielsweise im B- oder M-Stadium wegen der kleineren visuellen Helligkeit in den Abzählungen fehlen. Die Berücksichtigung des Einflusses der Farbenänderung auf die Sichtbarkeit der

Sterne bewirkt, daß gegenüber der zuerst durchgeführten Rechnung die Zahl der Sterne mit Minimalmassen entsprechend den äußeren Spektralstadien größer, die in den mittleren Spektralklassen kleiner anzunehmen ist. Die Häufigkeit der verschiedenen Massen in jeder Spektralklasse zeigt folgende Tabelle:

|   | $m_B$ | $m_A$ | $m_F$ | $m_G$ | $m_K$ |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| B | 3196  | 0     | 0     | 0     | 0     |
| A | 1679  | 7176  | 0     | 0     | 0     |
| F | 2008  | 1248  | 4698  | 0     | 0     |
| G | 3210  | 748   | 410   | 3028  | 0     |
| K | 5525  | 638   | 141   | 152   | 3267  |

Die horizontalen Reihen geben die Anzahl der Sterne eines bestimmten Spektraltypus mit den Minimalmassen des B-, A-, F-, G-, K-Stadiums; umgekehrt geben die vertikalen Reihen die Verteilung der Sterne einer bestimmten Minimalmasse auf die einzelnen Spektralklassen. Von den 37 000 Sternen bis zur 8. Größenklasse, die wir am Himmel sehen, sind beinahe die Hälfte Sterne der größten Masse; von diesen gehören der Spektralklasse B etwa nur ein Fünftel der Gesamtzahl an. Mit den von Eddington numerisch bestimmten Werten der Minimalmasse ergeben sich aus der Tabelle folgende mittleren Massenwerte für die aufeinanderfolgenden Spektralklassen B, A, F, G, K: 4,27; 1,81; 1,62; 2,14; 2,56 Sonnenmassen.

Weit interessanter als die Frage nach der Häufigkeit des Vorkommens der Massen aller Sterne bis zu einer bestimmten Helligkeit ist die nach der Häufigkeitsfunktion der Massen von Sternen, die in einem abgeschlossenen Volumen im Weltraum liegen. Das Resultat ist wesentlich von dem früheren verschieden. Die absolut hellen B- und A-Sterne sind relativ weit von uns entfernt; die sichtbaren späten Typen sind uns zumeist sehr benachbart, während die entfernteren wegen ihrer Lichtschwäche nicht zu den Sternen heller als 8. Größe zählen. Die durch die Farbenänderung der Sterne verursachte Änderung ihrer Sichtbarkeit ist in Rechnung gezogen, hingegen ist die Änderung der Leuchtkraft eines Sterns im Laufe seiner Entwicklung unberücksichtigt gelassen. Für jede Masse ist mit einer konstanten Leuchtkraft gerechnet, die allerdings besonders in den späten Typen noch einer sicheren Unterlage entbehrt. Als Einheitsraum wählt v. d. Pahlen eine Kugel von so großem Radius, daß die an ihrer Oberfläche liegenden Sterne von der Minimalmasse der B-Sterne die visuelle Helligkeit 8m,0 besitzen. Die Rechnung ergibt einen relativ steilen Abfall in der Häufigkeit der Sterne bei wachsender Masse. 89 % aller Sterne in diesem Raume besitzen die Minimalmasse der K-Sterne, 10 % die der G-Sterne, 1 % die der F-Sterne und nur  $\frac{1}{10}$  bez.  $\frac{1}{50}$  % die der A- bez. der B-Sterne. In einer Kugel von einem Radius von 50 bis 100 parsec, d. i. eine Entfernung, welche der jährlichen Parallaxe von etwa  $\frac{1}{100}$  Bogensekunde entspricht, sind mehrere Millionen von Sternen kleiner Masse und nur wenige Tausende von Sternen großer Masse enthalten. Von allen diesen Sternen werden nur wenige Tausende, und zwar hauptsächlich diejenigen von großer Masse, von uns gesehen.

Alfred Brill.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 51. (Seite 1089—1112.)

22. Dezember 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Das Laichgebiet des Aales. Bericht über die Arbeit von Dr. Joh. Schmidt (Kopenhagen): *The Breeding Places of the Eel* von *Rudolf Drost, Göttingen*. S. 1089.

Die Unregelmäßigkeit (Arrhythmie) des Herzschlages. Von *C.J. Rothberger, Wien*. (Mit 12 Abbildungen.) S. 1096.

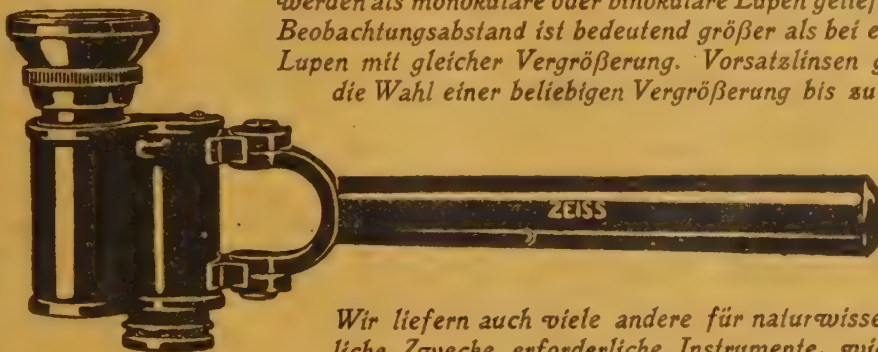
Über geomorphologische Restformen und ihre Be-

deutung für die Abtragung der Erdoberfläche Von *B. Brandt, Berlin*. (Mit 1 Abbildung.) S. 1103  
Über einige Aluminiumlegierungen. Von *G. Masing, Berlin*. S. 1109.

Deutsche Meteorologische Gesellschaft (Berliner Zweigverein): Über den Segelflug. Atmosphärische Einflüsse auf die drahtlose Telegraphie. S. 1111.

Deutsche Ornithologische Gesellschaft. S. 1112.

## ZEISS Fernrohr-Lupen



werden als monokulare oder binokulare Lupen geliefert. Der Beobachtungsabstand ist bedeutend größer als bei einfachen Lupen mit gleicher Vergrößerung. Vorsatzlinsen gestatten die Wahl einer beliebigen Vergrößerung bis zu 30 fach.

Wir liefern auch viele andere für naturwissenschaftliche Zwecke erforderliche Instrumente, wie Mikroskope, Einschlaglupen usw.

Druckschriften und  
Auskunft durch:

**CARL ZEISS, JENA**

### Die Naturwissenschaften

richten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

#### Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 400.— für Januar 1923 bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 125.—

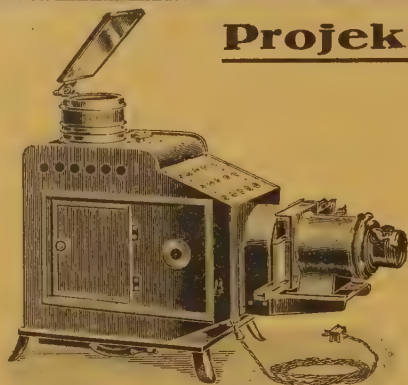
Zuschriften wegen des Anzeigenteils an die Anzeigen-Abteilung erbeten.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 0050-53. Telegrammadresse: Springerbuch.

Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.

Postcheck-Konten für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20220 Julius Springer, für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 11893 Julius Springer.



Listen frei

## Projektionsapparate Liesegang

Neu!

# Janus-Epidiaskop

Neu!

(D. R. Patent 366 044)

mit hochkerziger Glühlampe zur Projektion von Papier- und Glasbildern.

An jede elektrische Leitung anschließbar! Leistung vorzüglich!

**Ed. Liesegang, Düsseldorf**  
**Postfach 124**

Die Anschaffung des (297)

### Handwörterbuchs der Naturwissenschaften



10 Bände in Halbleder Tagespreis, erleichtert durch Zahlung in bequemen Monatsraten. Das Werk wird sofort vollständig geliefert.

**H. Meusser, Buchhandlung**  
**Berlin W 57/9, Potsdamer Straße 75.**

## Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

zu kaufen gesucht. Angebote unter Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

In den nächsten Tagen gelangt zur Ausgabe:

## Naturwissenschaftliche Monographien und Lehrbücher

Herausgegeben von der Schriftleitung der „Naturwissenschaften“

Vierter Band:

# Einführung in die Geophysik

Von

Professor A. Prey-Prag,

Professor Dr. C. Mainka-Göttingen, Professor Dr. E. Tams-Hamburg

Mit 82 Textabbildungen.

G. Z. 12; gebunden G. Z. 13

Vorzugspreis für die Bezieher der „Naturwissenschaften“ G. Z. 10; geb. G. Z. 11



## Das Laichgebiet des Aales.

### Bericht über die Arbeit<sup>1)</sup>

von Dr. Joh. Schmidt (Kopenhagen):

### The Breeding Places of the Eel

von Rudolf Drost, Göttingen.

Das Problem der Fortpflanzung und der Laichgründe des gewöhnlichen oder Flußaales ist uralt und hat schon die zu Aristoteles Zeiten lebenden Naturforscher beschäftigt. Aber erst in den letzten 30 Jahren hat die Forschung zu wirklichen Ergebnissen geführt.

Es ist schon seit langer Zeit bekannt, daß die ausgewachsenen Aale im Herbst aus den Flüssen und den Seen nach dem Meere zu wandern. Die wichtigsten Aalfischereien beruhen in der Tat auf dieser zum Meere hin gerichteten Wanderung. Die Aale kehren aus dem Meere nicht wieder zurück, aber mit dem Beginn des Frühlings erscheinen an den Küsten Myriaden kleiner junger Aale („Glasaale“), die den Weg zum Süßwasser hin einschlagen. Diese Glasaale sind in den meisten Ländern Europas bekannt und kommen in manchen Teilen in so ungeheuren Mengen vor, daß sie den Gegenstand einer besonderen Industrie bilden, beispielsweise im Severn in England, wo sie als „elvers“ bekannt sind. Bis zum Jahre 1896 war das Glasaalstadium das früheste Stadium der Entwicklung, in dem der Aal an den Ufern Europas bekannt war, und man nahm allgemein an, daß die im Frühjahr erscheinenden Glasaale die Abkömmlinge der Aale seien, die im vorangehenden Herbst nach dem Meere zu gewandert waren. Sie sind aber keineswegs so winzig wie z. B. die jüngsten bekannten Larvenstadien des Herings, sondern messen bereits nicht weniger als 6–7 cm in der Länge.

Wir wissen also, daß die alten Aale aus ihren letzten Aufenthaltsstätten im Meer verschwinden, und daß das Meer uns zahllose Scharen Glasaale zurücksendet. Aber wohin sind die alten Aale gewandert, und wo kommen die Glasaale her, und welches sind die noch früheren Stadien, die dem Glasaal-Stadium in der Entwicklung des Aales vorangehen? Das sind Probleme, die „die Aalfrage“ darstellen.

Es ist das große Verdienst eines dänischen Forschers, Dr. Johannes Schmidt in Kopenhagen, wichtige Teile der Aalfrage gelöst zu haben.

Schon vor seinen Forschungen, die 1904 begannen, haben sich andere mit diesem Problem beschäftigt und den ersten Schritt zur Lichtung des Dunkels unternommen. 1896 konnten die

Italiener Grassi und Calandruccio auf Grund ihrer Untersuchungen in Messina nachweisen, daß der blattförmige, glashelle, etwa 7,5 cm lange Fisch, den Kaup 1856 als *Leptocephalus brevirostris* beschrieb, nichts anderes als die Larve des Aales ist. Diese wandelt sich um in den kleineren und schmälere Glasaal, der im Frühjahr in großen Scharen an unseren Küsten erscheint und die Süßwasserläufe aufwärts wandert, von dem man annahm, daß er von den alten Aalen abstamme, die im Herbst zuvor aus den Seen, Flüssen usw. ins Meer gewandert sind. Grassi vermutete, daß die Entwicklung der Aalbrut in den Tiefen des Meeres vor sich gehe, und daß nur die vertikalen Strömungen in der Straße von Messina die Larven in obere Schichten und so in den Bereich seines Netzes gebracht hätten.

Eine Menge von Fragen jedoch konnte noch nicht beantwortet werden: Warum wurden die Larven nicht an anderen Küsten Europas gefunden, sondern nur in der Straße von Messina? Weshalb fing man dort nur ganz und fast erwachsene Larven (ca. 7,5 cm lang) und keine kleineren? Wohin ziehen die alten und woher kommen die jungen Aale unserer nordischen Länder?

Das Jahr 1904 erst gab den Anstoß zur weiteren Forschung und veranlaßte den ersten Schritt zur schließlich völligen Beantwortung der „Aalfrage“, als Dr. Johs. Schmidt auf dem dänischen Forschungsschiff „Thor“, gemäß dem Programm des Internationalen Rates für Meeresforschungen mit Fischerei-Untersuchungen beschäftigt, westlich der Faröer zufällig ein Exemplar von *Leptocephalus brevirostris*, 7,5 cm lang, fing. Auf diesen ersten Fund außerhalb des Mittelmeeres folgte in demselben Jahr ein zweiter, den ein Mr. Farran an der Westküste Irlands machte.

Auf Grund verschiedener Umstände wurde es Dänemark, wo der Aalfang ein besonders wichtiger Handelszweig ist, bewilligt, die Forschungen fortzusetzen; Schmidt wurde mit der Ausführung beauftragt.

Ziel der Untersuchungen war vor allem, die Laichplätze des Aales zu finden, und ferner, das Alter der gefundenen Larven und des Glasaales festzustellen. Hierzu war es erforderlich, systematisch in allen Teilen der in Frage kommenden Meere zu fischen. Dadurch, daß man bestrebt war, immer jüngere Entwicklungsstadien zu erbeuten, mußte es schließlich gelingen, die Laichplätze selbst zu erreichen und genau zu umgrenzen. — Doch nicht nur auf See, auch an Land im Institut mußten Untersuchungen angestellt werden. Es galt festzustellen an Hand von Aalproben, die

<sup>1)</sup> Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Vol. 211, 1922.

aus dem größten Teil des atlantischen Gebietes stammten, ob man es mit einer oder mit mehreren Arten oder Rassen des Aales zu tun habe. Im Verlauf dieser Untersuchung, die sich besonders auf die Zahl der Wirbel und Flossenstrahlen bezog, konnte *Schmidt* das Vorhandensein von nur zwei Aalarten nachweisen, nämlich einer westlichen, amerikanischen — *Anguilla rostrata* — und einer östlichen, europäischen — *Anguilla vulgaris*. Auf die Unterscheidung der beiden Arten wird weiter unten eingegangen werden.

Der ganze Verlauf der Schmidtschen Forschungen bietet soviel des Lehrreichen und Interessanten, daß man es sich nicht versagen darf, den Gang der Untersuchungen und die stufenweise Lösung der Frage zu verfolgen.

Seit 1904 betrieb *Schmidt*, wie erwähnt, die Aalforschungen und seit 1905 bildeten sie einen Punkt des dänischen Programmes. Wenn man anfangs geglaubt hatte, in kurzer Zeit nach den oben erwähnten Richtlinien die Frage restlos klären zu können, so hatte man sich sehr geirrt. 17 Jahre — eingerechnet allerdings eine fünfjährige Unterbrechung während des Weltkrieges — hat die Lösung der Aufgabe beansprucht.

Mit dem Forschungsschiff „Thor“ wurden in den Jahren 1905 bis 1910 nacheinander die dänischen Gewässer, die Nordsee, die Norwegische See, der Atlantische Ozean querab von der Westküste Europas von Island bis Marokko und das Mittelmeer befahren. 1905 stand fest, daß ausgewachsene Aallarven im Atlantischen Ozean westlich von Europa auf der ganzen Strecke von den Faröer bis Bretagne, westlich der 1000-m-Linie in Mengen vorkommen. Östlich dieser Linie wurden sie nirgends gefunden. Hieraus konnte geschlossen werden, daß alle Aale Westeuropas aus dem Atlantischen Ozean stammen. Die Größe der Larven betrug im Juni 7,5 cm. Im folgenden Jahre wurden im Atlantik erwachsene Larven — durchschnittlich 7,5 cm — in Massen erbeutet. Die Fänge im Frühling und im Herbst zeigten jedoch einen Unterschied. Im August und September war die Mehrzahl in der Metamorphose begriffen, im Frühling und Frühsommer fand sich aber keine einzige. Durch die Metamorphose wird die Länge durchschnittlich um 1 cm — von etwa 75 mm im Juni 1905 auf 66 mm im Mai 1906 —, die Höhe sogar um mehr als den vierten Teil geringer als vorher. Die umgewandelten kleinen Aale, die im Frühling an den europäischen Küsten erscheinen, müssen also durchschnittlich ein Jahr älter sein als die von 75 mm Länge, die um dieselbe Zeit im Ozean westlich Europas gefangen werden. Die Larven, die westlich von Frankreich gerade über den größten Tiefen (5000 m) erbeutet wurden, zeigten die auffällige Erscheinung, daß die noch nicht metamorphosierten sich weiter östlich befanden als die, die sich der Metamorphose unterzogen. Es konnte also mit Recht geschlossen werden, daß die Laichgründe im Ozean weit von den Küsten

entfernt gelegen sein mußten. Es ergab sich weiter die interessante Tatsache, daß die Verbreitung der Aale im Atlantik deutlich mit dem Umfang der großen Wasserströmungen zusammenfällt.

Einen Schritt näher rückte das Ziel infolge der Beute des Norwegers *J. Hjort* auf dem norwegischen Forschungsschiff „M. Sars“, Juni und Juli 1910, und durch Untersuchungen von einer Sammlung von Leptocephalen, die sich seit 1865 im Zoologischen Museum zu Kopenhagen befanden. *Hjort* fing außer 23 Larven von bekannter Größe, 65—80 mm, westlich Europas nördlich 40° N. Br. und östlich 30° W. L. 21 Larven von 41 bis 60 mm Länge und zwar westlich der Azoren an 5 Stationen zwischen dem 31. und 40. Breitengrad und zwischen dem 30. und 48. Längengrad. Er nahm an, daß die kleinen Larven erstjährig (0-Gruppe) und die größeren vorjährig seien (I-Gruppe) und vermutete, daß die Laichplätze im Zentralatlantik zwischen den Azoren und den Bermuda-Inseln gelegen seien. Unter den Exemplaren des Kopenhagener Zoologischen Museums befand sich ebenfalls ein kleines Exemplar von *Leptocephalus brevirostris* von nur 41 mm, das in der Nähe von Madeira lat. 34° 20' N. long. 18° 30' W., außerdem eines von 53 mm Länge, das viel weiter westlich, etwa 30° N., long. etwa 32° W., gefangen war. Wir sehen hieraus, daß 41 mm kleine Larven 1500 Meilen voneinander entfernt angetroffen wurden. Waren diese eben 4 cm langen Larven nun, wie *Hjort* annahm, erstjährig und hatten sie sich noch nicht weit von ihrem Ursprungsort entfernt, dann mußten die Laichgründe die ganze östliche Hälfte des Atlantischen Ozeans südlich der Azoren umfassen. Oder gab es mehrere, getrennte Laichbezirke? Wenn ja, wo befanden sich die erstjährigen Larven der riesigen Aalscharen Europas? Wie alt waren überhaupt die 40 mm langen Larven? Diese Fragen harhten der Beantwortung.

*Schmidt* setzte sich nun als nächste Aufgabe, zu ermitteln, nicht nur wo die jüngsten Larven leben, sondern auch wo sie nicht vorkommen, und ferner, ihr Alter festzustellen. Der Südatlantik beherbergt keinerlei Stadien der Gattung *Anguilla*, wie *Schmidt* schon 1909 nachgewiesen hatte. Also kam nur die nördliche Hälfte des Atlantischen Ozeans in Frage. Auf alle Fälle mußte das Forschungsgebiet ins Meer, weit von den europäischen Küsten verlegt werden, wozu aber der Aktionsradius des „Thor“ nicht ausreichte. Es gelang, alle möglichen Arten dänischer Schiffe zu veranlassen, auf ihren Routen quer durch den Ozean Netzzüge zu machen und das gefangene Material einzusenden. So wurden in der Zeit von 1911 bis 1915 von 23 verschiedenen Fahrzeugen, Dampfern und Segelschiffen, an etwa 550 „Stationen“ überall im nördlichen Atlantik Fischzüge gemacht. 1911—1912 fischten hauptsächlich Schiffe zwischen dem Ärmelkanal



und Westindien. Sie erbeuteten höchstens 3 Larven pro Station, worunter sich bemerkenswerterweise eine von nur 34 mm Länge befand (bei 25° N. Br. und 51° W. L.). Außer der geringen Größe war dieser Fang auch deshalb wichtig, weil die Fundstelle die Laichgründe mehr südlich und westlich vermuten ließ, als man bisher angenommen hatte. Von einem vollständigen Ergebnis war man 1912 aber noch weit entfernt. Schwierigkeiten machte vor allen Dingen die

Süden und von Osten nach Westen zu konstatieren, wie aus folgenden Zusammenstellungen ersichtlich ist:

Größe der Aallarven (*Anguilla vulgaris*) an Stationen von Osten nach Westen, lat. 35° N.; „Margrethe“, September 1913:

Längengrad..... 29° W.      45° W.      56° W.  
Stationsnummer u.

Datum..... 1013, 24. 8.    1020, 11. 9.    1030, 1. 10.  
Länge in mm..... 65, 63, 59    55, 53, 50    40, 36, 35

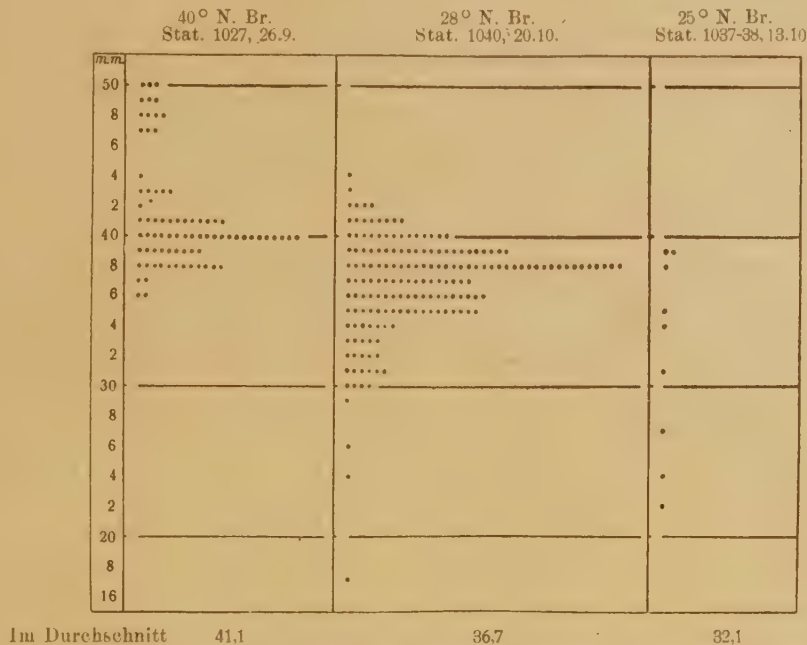


Fig. 1. Größe der Aallarven (*Anguilla vulgaris*) an Stationen von Nord nach Süd, im westlichen Atlantik zwischen 50° und 60° W. L.; „Margrethe“, Oktober 1913.

Deutung des Umstandes, daß 40—60 mm lange Larven, die Hjort im Juni gefangen hatte und für erstjährig hielt (0-Gruppe), auch im Winter und Frühling erbeutet wurden. Sollten vielleicht Hjorts wie Schmidts Larven erstjährig sein, und sollte gar eine Erzeugung von Eiern und Larven ununterbrochen während des ganzen Jahres stattfinden, so daß die Größe der Larven nur durch die Entfernung von dem Erzeugungsort bedingt war? Hiergegen sprach jedoch manches, z. B. die Regelmäßigkeit in der Metamorphose.

Das Jahr 1913 brachte größere Fortschritte. Einmal schickten die verschiedenen Schiffe reicheres Material, dann aber gelang es, den kleinen Schoner „Margrethe“, in vollkommener Weise ausgerüstet, für eine Expedition über den Atlantik zu bekommen. Während der Monate August bis Dezember wurden die Forschungen längs folgender drei Linien angestellt: 1. von den Faröer bis südwestlich der Azoren, 2. von dort bis zu den Neufundland-Bänken, 3. von da nach Westindien. Erbeutet wurden insgesamt 714 Larven — auch einige von *Anguilla rostrata*. Es war eine zahlenmäßige Zunahme von Osten nach Westen und eine Abnahme der Größe von Norden nach

Von Oktober bis Dezember wurde auf Fahrten zwischen Neufundland und Westindien die nördliche und südliche Grenze der Verteilung der *vulgaris*-Larven bestimmt: 40° N. Br. und 24° N. Br.; nach Westen reichte ihr Verbreitungsgebiet, soweit wie die Untersuchung sich erstreckte, bis 65° W. L. Auch Larven des amerikanischen Aales wurden gefangen, aber nur 3 bis 4 % der Gesamtzahl der Larven. Außerordentlich auffällig war es, daß sich rings um die Bermuda-Inseln Larven des europäischen Aales befanden, während auf den Inseln selbst nur *Anguilla rostrata* festgestellt war. Betreffs der Größe der auf der „Margrethe“ gefangenen Larven war ein neuer Rekord aufgestellt: die kleinste maß nur 17 mm, wie aus der Tabelle ersichtlich ist. Aus dem Gesamtergebnis der Kreuzerfahrten der „Margrethe“ glaubte Schmidt schließen zu können, daß man die Möglichkeit einer ununterbrochenen Erzeugung von Eiern und Larven ablehnen müsse; sonst hätten im Herbst und Winter mehr kleine Larven gefangen werden müssen. Vielmehr nahm er an, daß die erbeuteten Larven während der ersten Hälfte des Jahres zur Welt gekommen seien. Er hatte es also mit erstjäh-

rigen Larven zu tun gehabt, die im Herbst etwa 35 mm maßen.

In den folgenden Jahren, 1914 und 1915, wurde durch Dampfer der dänischen Westindien-Linie die Bestätigung erbracht, daß die kleinsten Larven im Sommer vorkommen. So wurden im Mai bei 26° N. Br. und 55° W. L. gefischte Planktonproben eingesandt, die Larven von der Durchschnittsgröße 14 mm enthielten; die kleinsten waren nur 9 mm lang.

Von 1915—1920 ruhten die Untersuchungen zur See aus Anlaß des Krieges. Diese Zeit wurde

man so weit, erklären zu können, daß das Laichgebiet des Aales in seiner Ausdehnung bekannt sei. Auf Grund der vielen Stationen, an denen die kleinsten Larven gefangen wurden, konnte das Laichgebiet aufgezeichnet werden.

Schmidt bezeichnet als eigentlichen Laichplatz das Gebiet, innerhalb dessen Larven bis 10 mm Länge gefunden waren, in der Annahme, daß diese kleinen Tiere sich unmöglich weit von der Stelle entfernt haben können, wo sie aus dem Ei gekommen sind. Wie aus der Karte zu ershen ist, liegt das Laichgebiet des europäischen Aales

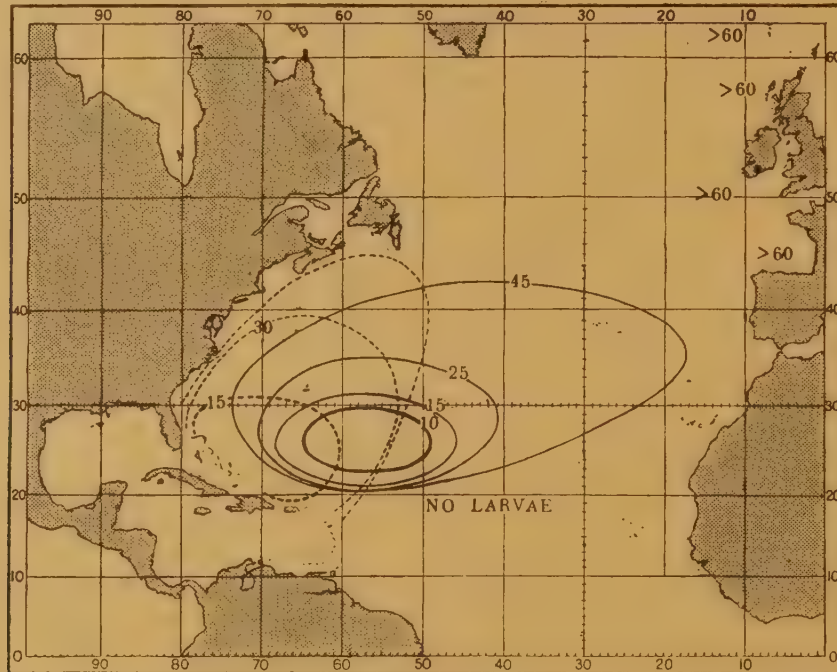


Fig. 2. Laichgebiet (dicke Linien) und Verteilung der Larven von *Anguilla vulgaris* und *Anguilla rostrata* (für *A. rostr.* gestrichelte Linien). Die Linien zeigen die Grenzen des Vorkommens, d. h. Exemplare kleiner als 25 mm wurden nur innerhalb der Linie 25 gefunden.

mit der Verarbeitung des bislang gewonnenen Materials ausgenutzt. So wurde z. B. eine Beschreibung der Larvenentwicklung der beiden *Anguilla*-species gegeben.

Nach Kriegsende wurden die Untersuchungen zur See von neuem aufgenommen. Von den Fängen der Handelsschiffe, die an ihre bestimmten Routen gebunden sind, war kein weiterer Fortschritt auf der Suche nach den Laichplätzen zu erwarten. 1914 und 1915 hatten sie so kleine Larven aufgebracht, daß man als festgestellt betrachten konnte, die Dampferlinie Englischer Kanal—St. Thomas passiere das Laichgebiet. Nach vielen Bemühungen gelang es 1920, für das Unternehmen den Motorschoner „Dana“ zur Verfügung zu bekommen — die „Margrethe“ war 1913 bei einer der westindischen Inseln gestrandet —. 1920 und 1921 wurden nun im Frühling und Sommer sehr zahlreiche Netzzüge im westlichen Atlantik gemacht. Endlich war

zwischen dem 22. und 30. Breiten- und dem 48. und 65. Längengrade. Die nördlichsten, südlichsten, westlichsten und östlichsten Larvenfunde, die überhaupt gemacht wurden, stellen sich wie folgt dar:

*Larven des europäischen Aales (Anguilla vulgaris).*

Nördlichster Fund: lat. 61° 21' N., long. 10° 59' W.

(„Thor“)

Südlichster Fund: lat. 20° 14' N., long. 57° 03' W.

(„S. S. Tranquebar“)

Westlichster Fund: long. 73° 30' W., lat. 30° 49' N.

(„Dana“)

Östlichster Fund: long. 15° 35' O., lat. 38° 07' N.

(„Thor“)

Der Gang der Schmidtschen Untersuchungen ist im Jahre 1921 abgeschlossen. Neben der wichtigen Auffindung der Laichgründe sind aber noch viele andere Beobachtungen nennenswert.

Die Laichzeit dauert vom Ende des Winters oder Anfang des Frühlings bis in den Sommer



hinein. Denn nicht nur im April, wo die Durchschnittslänge etwa 12 mm beträgt, wurden Larven kleiner als 10 mm erbeutet, sondern auch im Mai, Juni und Juli, wo der Längendurchschnitt stetig wuchs.

Von den riesigen Mengen der Larven gibt ein Fischzug von 2 Stunden in 50 m Tiefe am Punkt lat. 27° 15' N., und long. 61° 35' W. ein anschauliches Bild: 800 Exemplare befanden sich im Netz (siehe Fig. 5).

Die vertikale Verteilung im Laichgebiet ist derart, daß im Juni die älteren Tiere mit einer durchschnittlichen Länge von 25 mm von 50 m Tiefe bis zur Oberfläche angetroffen wurden, während die jüngeren Stadien 7—15 mm in tieferen Schichten 200—75 m vorgefunden wurden.

Das Alter der verschiedenen Larvengrößen hat natürlich auch endgültig ermittelt werden können. Wurden die gefundenen Maßzahlen der an bestimmten Stationen erbeuteten Larven in ein Koordinatensystem eingetragen, so zeigte sich, daß man nicht eine eingipflige Kurve erhielt, sondern zwei Kurven, zwischen denen die Linie unterbrochen ist (siehe Fig. 3).

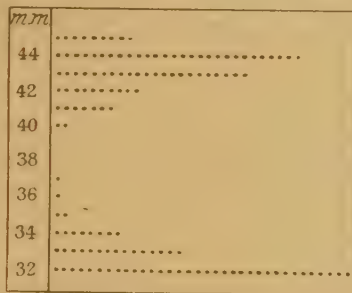


Fig. 3. Europäischer Aal (*Anguilla vulgaris*); West-Atlantik (westl. von 50° W. L.), „Dana“, Juni 1920. Zeigt die Grenze zwischen der 0-Gruppe und der I-Gruppe.

Der Zwischenraum gibt die Grenzen der verschiedenen Jahresklassen an. Im Frühling, wenn die 0-Gruppe viel kleiner ist, ist das Intervall zwischen den beiden Gruppen natürlich viel ausgeprägter (siehe Fig. 4).

Eine Übersicht über die Größe der Jahresklassen gibt folgende Tabelle (siehe auch Fig. 5):

Larven des europäischen Aales im Frühsommer (Juni).

| Jahresklasse | Hauptvorkommen               | Länge in mm                      | Durchschnittliche Länge in mm |
|--------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Gruppe 0     | West-Atlantik                | 7—37                             | 25                            |
| „ I          | Zentral-Atlantik             | 40—etwa 70                       | 52                            |
| „ II         | Europäische Küsten           | 60—88                            | 75                            |
| „ III        | Süß- und Brackwasser Europas | Gerade metamorphosierte Jungaale |                               |

Wir haben es also insgesamt mit 3 Jahresklassen der Larven zu tun. Obige Tabelle lehrt uns gleichzeitig, wo sich die Vertreter der einzelnen Größenordnungen in der Hauptsache befan-

den, und wie lange Zeit die Wanderung von den Laichgründen bis zu den europäischen Küsten währt. Die Entwicklungsdauer vom Ei bis zur ausgewachsenen Larve beträgt also über zwei Jahre und bis zur Beendigung der Metamorphose fast 3 Jahre.

Über den Weg der Wanderung gibt die Karte einige Auskunft. Man ersieht, daß die Hauptmasse der Larven von *Anguilla vulgaris* sich nach Nordosten wendet. Für die Anfangsrichtung konnte eine Regelmäßigkeit nicht festgestellt werden. In einem Jahr (1920) schien das Gros

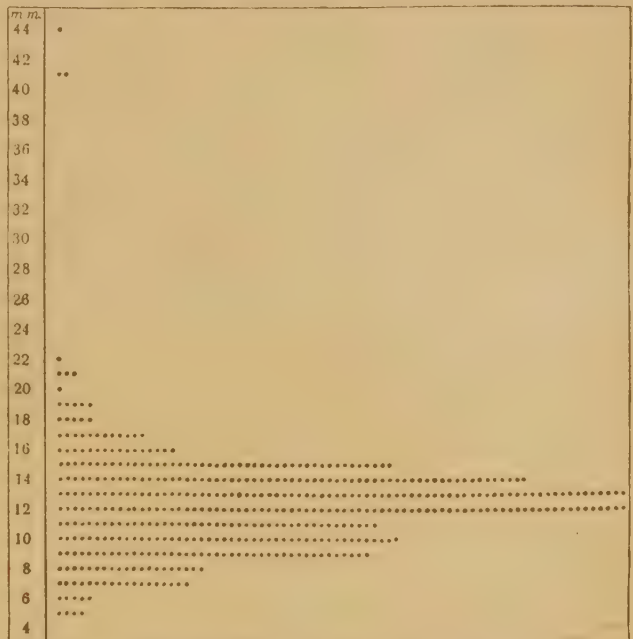


Fig. 4. Erstjährige (0-Gruppe) und drei Exemplare vorjähriger (I-Gruppe) Larven von *Anguilla vulgaris*; West-Atlantik (westl. des 50. Längengrades), „Dana“, April 1921.

sich nordwärts von dem Laichplatz zu entfernen, während 1913 die Mehrzahl sogleich die nordöstliche Richtung einzuschlagen schien. Unterschiede zwischen einzelnen Jahren und verschiedenen Abschnitten des Laichgebietes sind hier als wahrscheinlich anzunehmen.

Die langjährigen Schmidtschen Untersuchungen ermöglichen es, einen Abriß der Lebensgeschichte des europäischen Aales zu geben.

Im Herbst wandert der Silberaal aus den Seen und Flüssen ins Meer. Dort ist er sehr bald unserer Beobachtung entschwunden; nur in den dänischen Sunden und Belten und gelegentlich Ende des Jahres vereinzelt im Englischen Kanal wird er noch festgestellt. Weiterhin, auf seinem Wege südwestlich durch den Ozean, ist nie mehr ein Aal gefangen worden. Wann er sein Ziel, die Laichplätze (vgl. Fig. 2) erreicht, ist nicht bekannt. Die Laichzeit dauert vom Vorfrühling bis in den Sommer hinein. Die kleineren 7 bis 15 mm langen Larven treiben bei 20° C in Schichten von 200—300 m Tiefe. In ihrem

ersten Sommer erreichen sie eine durchschnittliche Größe von 25 mm und werden nun in der Mehrzahl in den obersten Wasserschichten von 50—25 m oder gar an der Oberfläche selbst angetroffen. Dann beginnt die Wanderung nach Europas Küsten, die durch Strömungen der oberen Wasserschichten unterstützt wird. Während sie sich im ersten Sommer westlich des 50. Längengrades befanden, halten sie sich im zweiten Sommer bei einer Durchschnittsgröße

Landes dringen und beträchtliche Höhen erklimmen, davon geben Fänge in der Schweiz bis zu einer Höhe von 3000 m über dem Meeresspiegel Kunde. Während ihres Aufenthaltes im Süßwasser, der je nach Umständen 5—20 Jahre dauert, werden die Aale groß und feist. Die Männchen allerdings bleiben klein und werden selten 45 cm lang. Die Farbe ist während des Heranwachsens gelb und grünlich, ohne Metallglanz. Dieses Stadium wird „Gelbaal“ genannt.

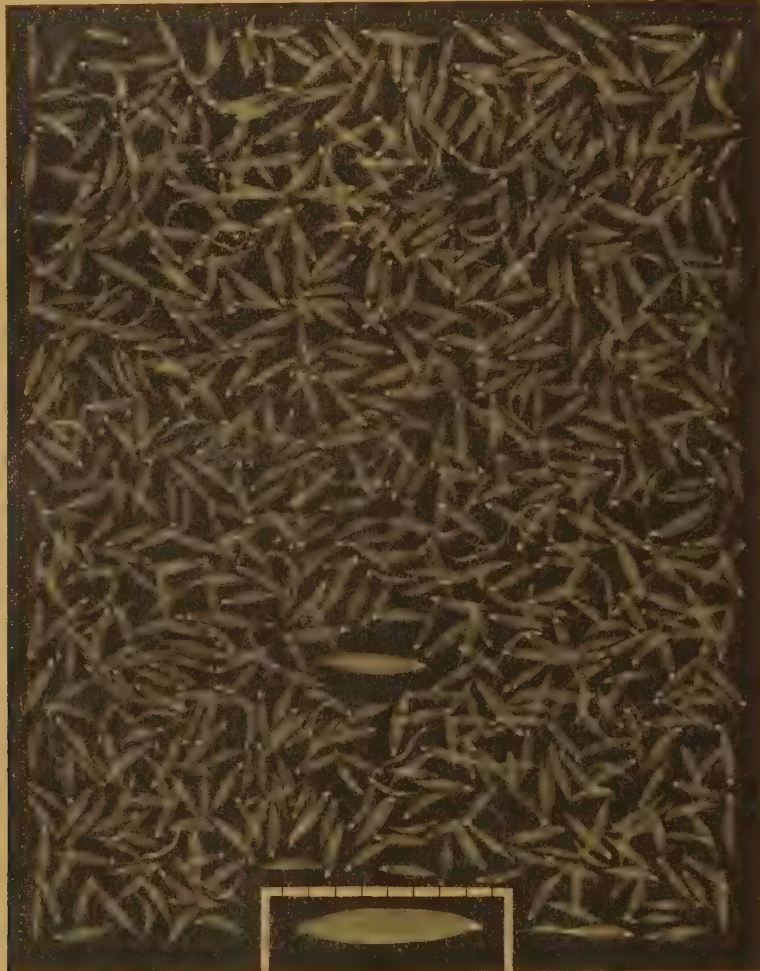


Fig. 5. Aallarven (*Anguilla vulgaris*), gefangen in einem einzigen Netzzug von 2 Stunden Dauer auf der „Dana“, Station 871 (lat.  $27^{\circ} 15' N.$ , long.  $61^{\circ} 35' W.$ ) im westlichen Atlantik, 1920, Juni 27; Tiefe etwa 50 m. Ein Exemplar gehört zur I-Gruppe, die übrigen zur O-Gruppe. Unten ein Exemplar der II-Gruppe, Länge 74 mm, vom östlichen Atlantik zum Vergleich.

Etwa ein Drittel nat. Gr. (cf. die cm-Skala unten.)

von 50—55 mm im mittleren Teil des Atlantischen Ozeans auf. Im dritten Sommer erreichen sie die Küsten Europas als ausgewachsene Larven von meist 75 mm Länge. Im Herbst und Winter wandelt sich ihre blattförmige Gestalt in die aalförmige um. Im Frühling ist das Glasaalstadium erreicht und die Wanderung flußaufwärts beginnt. Manche der Jungaale jedoch, besonders Männchen, bleiben im Brackwasser in Lagunen und Buchten. Daß die Tiere weit ins Innere des

Naht die Wanderzeit, so bekommt der Körper einen metallischen Schein, und die Brustflossen werden schwarz; zugleich nimmt die Freßlust ab. In diesem Zustand werden sie als Silberaal bezeichnet. Fest und fett, wie ihr Fleisch dann ist, sind sie so sehr gut für ihre große Reise gerüstet.

Zum völligen Verständnis unseres Aales ist es unerläßlich, auch die zweite Art, *Anguilla rostrata*, heranzuziehen. Wie bereits erwähnt, stellte Schmidt bei seinen Untersuchungen fest,



daß im Gebiet des Atlantischen Ozeans außer *Anguilla vulgaris* nur noch *Anguilla rostrata* vorkommt. Äußerlich unterscheiden sich die Arten kaum voneinander. Erst die anatomische Untersuchung gestattet eine sichere Trennung. *Anguilla vulgaris* hat z. B. im Durchschnitt 114,7 Wirbel, während *Anguilla rostrata* nur 107,2 besitzt. Die Larven des amerikanischen Aales haben die Untersuchungen über *Anguilla vulgaris* ziemlich erschwert; wurden doch beide Arten oft an derselben Stelle und mit demselben Netz erbeutet. Zudem sind die Larven beider Arten nur zu unterscheiden, wenn unter dem Mikroskop die 104—120 Muskelsegmente (Myomeren) gezählt werden. Der Laichplatz von *Anguilla rostrata* überdeckt sich teilweise mit dem von *Anguilla vulgaris* (vgl. die Karte Fig. 2). Die Größe der Larven beträgt im April 20—25 mm, im Juni 30—35 mm, im Juli 40 mm und im September etwa 50—55 mm. Gegen Ende des Jahres sind sie ausgewachsen und 60—65 mm lang. In den Wintermonaten findet die Metamorphose statt, und im Frühling steigen die Jungaale die Flüsse hinauf. Zur ganzen Entwicklung vom Ei bis zum Glasaal, die bei *Anguilla vulgaris* 3 Jahre dauert, wird also nur 1 Jahr gebraucht. Die Erkenntnis dieser Tatsache läßt es nicht mehr rätselhaft erscheinen, weshalb um Bermuda Larven von *Anguilla vulgaris* vorkommen, erwachsene Tiere auf den Inseln aber nicht zu Hause sind, sondern nur *Anguilla rostrata*. Die *vulgaris*-Larven um Bermuda gehören der 0- und I-Gruppe an. Bis sie metamorphosiert sind, hat sie die Meeresströmung weit von diesen Inseln weggeführt. *Anguilla rostrata* jedoch, der seine Larvenentwicklung in einem Jahr beendet, hat sich bis dahin noch nicht weit von der amerikanischen Küste entfernt. So erklärt sich auch die reinliche Scheidung im Vorkommen der erwachsenen Aale trotz der Durchmischung der Larven. Der amerikanische Aal hat während seiner kurzen Larvenzeit im Meere einfach keine Zeit für so weite Wanderungen, wie sie *Anguilla vulgaris* ausführt. Außer diesem ethologischen Grund — verschiedene Dauer des pelagischen Wanderstadiums — ist noch ein geographischer Grund für das getrennte Vorkommen der erwachsenen Aale anzuführen: die etwas südlichere und westlichere Lage des Laichgebietes von *Anguilla rostrata*.

Das Häufigkeitsverhältnis der beiden Arten mögen folgende Zahlen erläutern:

|                          | <i>Anguilla rostrata</i> | <i>Anguilla vulgaris</i> |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Handelsschiffe 1911—1915 | 3                        | 120                      |
| „Margrethe“ 1913.....    | 24                       | 714                      |
| „Dana“ 1920 .....        | ca. 1000                 | ca. 6000                 |

Diese Zahlen entsprechen der Bedeutung der Aalfischerei: der jährliche Ertrag in Amerika beträgt etwa 2000 Tonnen, in Europa über 10 000 Tonnen.

## Literatur.

1. 1873. Boudelot, Recherches sur la structure et le développement des écailles des poissons osseux. Arch. de Zool. exp. et gen. T. II.
2. 1882. Moebius, K. und Heincke, Fr., Die Fische der Ostsee. IV. Ber. d. Komm. z. Unters. d. deutsch. Meere in Kiel.
3. 1888. Raffaele, Le Uovi galleggianti et le Larve dei Teleostei nel Golfo di Napoli. Mitt. aus d. Zool. Stat. Neapel VIII.
4. 1891. Trybom, F., Zirkular des Deutschen Fischereivereins, Nr. 1.
5. 1894. Petersen, C. G. Joh., The Common Eel (Ang. vulg.) gets a particular breeding-dress before its emigration to the sea etc. Reports from the danish biological Station Vol. V.
6. 1894. Trybom, F., Fisket i Halland 1893. Hallands Läns Hushållings-Sällskaps Handlingar.
7. 1894. Heincke, Fr., Die Fische Helgolands. Wiss. Meer-Unters. N. F. I.
8. 1895. Williamson, H. C., On the Reproduction of the Eel. Fishery Board for Scotland, 13. Annual-Report.
9. 1895. Facciola, La prima forma larvata dell' *Anguilla vulgaris*. Nat. Sicil. Vol. XIII—XIV, Palermo.
- \*10. 1896. Grassi, The reproduction and metamorphosis of the Common Eel (Ang. vulg.). Proc. of the R. Soc. London Vol. 60.
- \*11. 1897. Grassi und Calandruccio, Riproduzione e metamorfosi delle Anguille. Giorn. Italian. di Pesca etc. 7—8. Deutsch von Doflein, Allgem. Fisch.-Ztg. N. F. Bd. 12, 1897.
12. 1897. Heincke, Fr., Nachträge zur Fisch- und Molluskenfauna Helgolands I. Wiss. Meer-Unters. N. F. Bd. II.
13. 1902. Eigenmann, The egg and development of the conger eel. Bull. of the U. S. Fish Comm. Vol. XXI, for 1901, Washington.
14. 1902. Trybom, F., Ålhanar från Sveriges ostkust. Svensk Fiskeri-Tidskrift. Arg. 11.
15. 1903. Trybom F. und Nyström, A., Till kändomen om dett insötvatttnena upvandrande ålynglet. ibid. Arg. 12.
16. 1904. Nordquist, O., Ålfiskeförsök och ålunder-sökuingar i södra Finland. Fiskeritidskrift för Finland 13.
17. 1904a. —, Resultate der Aussetzung von gezeichneten Aalen in Finnland im Jahre 1903. Mitt. d. Dtsch. Seefisch-Ver. Bd. XX.
18. 1904. Palmén, J. A., Neue Aussetzungen gezeichneter Aale in Finnland. ibid.
19. 1905. Herwig, Aussetzung von markierten Aalen und Flundern von seiten d. Deutsch. Seefisch-Ver. i. d. Ostsee. ibid. Bd. XXI.
20. 1905. Petersen, C. G. Joh., Larval Fels (Leptocephalus brevirostris) of the atlantic coasts of Europe. Meddelelser fra Kommissionen for Havundersögelser, Serie: Fiskeri, Bd. I, Nr. 5.

<sup>1)</sup> Die Literaturangaben sind nicht vollständig. Besonders hingewiesen sei noch auf Arbeiten von Ehrenbaum, Marcus und andern Autoren über Alter und Wachstum des Aales im Frischwasser. Die mit \* versehenen Arbeiten sind bei Schmidt 1922 angeführt.

21. 1905. *Trybom, F.*, Ålmärkningar i Östersjön 1903 och 1904. Svenska Hydrografisk-Biologiska Kommissionens Skrifter Bd. I.
22. 1906. *Gemzøe, K. J.*, Age and Rate of Growth of the Eel. Rep. of the Danish Biological Station to the Board of Agriculture Vol. XIV.
23. 1906. *Palmén, J. A.*, Om den finska ålens vandringar. Fiskeritidskrift för Finland Årg. 15.
- \*24. 1906. *Schmidt, Joh.*, Contribution to the Life-history of the Eel (*Anguilla vulgaris* Flem.) Cons. perm. pour l'expl. de la mer. Rapports et procès-verbaux Vol. V, Kopenhagen.
25. 1906. *Trybom, F.*, Ålens fortplantingsförhållanden. Svensk Fiskeri-Tidskrift Årg. 15.
26. 1906. —, Ålmärkningar i Östersjön 1905. Svenska Hydrografisk-Biol. Komm. Skr. Bd. II.
27. 1907. *Trybom, F.* und *Schneider, G.*, Die im Jahre 1910 in Schweden ausgeführten Versuche mit gekennzeichneten Aalen. *ibid.* Bd. III.
28. 1907. *Ehrenbaum, C.*, Johs. Schmidts Abhandlung über den Aal. Referat i d. „Fischerei-Zeitung“, Neudamm.
29. 1908. *Giacomini, E.*, Intorno alla gonogenesi nelle anguille e all' epoca del differenziamento sessuale in questi Murenoidi. Rivista mensile di pesca, anno X, Nr. 3.
30. 1908. *Gilson, G.*, L'Anguille, sa reproduction, ses migrations et son intérêt économique en Belgique. Annales de la Soc. royale Zool. et Malacolog. de Belgique Tome XLIII.
31. 1908. *Lübbert*, Praktische Ergebnisse der wissenschaftlichen Meeresforschung für die Binnenfischerei. Allgem. Fischerei-Zeitung XXXIII, Nr. 10 u. 11.
32. 1908. *Petersen, C. G. Joh.*, The Influence of Light on the Migrations of the Eel. Reports of the Danish Biological Station to the board of agriculture Vol. XIV, Kopenhagen.
33. 1908. *Trybom, F.* und *Schneider, G.*, Das Vorkommen von „Montées“ und die Größe der kleinsten Aale in der Ostsee und in deren Flüssen. Cons. perm. pour l'expl. de la mer, Rapp. et procès-verbaux Bd. IX.
34. 1908a. — und —, Die Markierungsversuche mit Aalen und die Wanderungen kennzeichneter Aale in der Ostsee. *ibid.*
35. 1909. *Järvi, T. H.*, Beobachtungen über die Größe und das Alter der Aale in Binnengewässern Finnlands. Medd. 1909, Heft 35.
36. 1909a. —, Über das Vorkommen des Aales im Wassersystem des Kymi-Flusses. *ibid.*
- \*37. 1909. *Schmidt, Joh.*, Remarks on the Metamorphosis and Distribution of the Larvae of the Eel (*Anguilla vulgaris*). Meddelelser fra Kommissionen for Havundersøgelser, Serie: Fiskeri, Vol. III, Nr. 3, Kopenhagen.
- \*38. 1909a. —, On the Distribution of the Fresh-Water Eels (*Anguilla*) throughout the World. *ibid.*, Nr. 7.
39. 1909. *Schneider, G.*, Über das Wachstum der Aale (*Anguilla vulg.*) in den Gewässern Schwedens. Publications de Circonstance Nr. 4. Cons. perm. intern. l'explor. de la mer, Kjøbenhavn.
40. 1910. *Hein, W.*, Bellinis Sexualdimorphismus der mediterranen Steigaale und die nordische Aalbrut. Allgem. Fischerei-Zeitung 1910, Nr. 13.
- \*41. 1910. *Hjort, J.*, Eel Larvae from the Central Atlantic. Nature Vol. 85.
42. 1910. *Walter, E.*, Der Flußaal, eine biologische und fischereiwirtschaftliche Monographie, Neudamm.
43. 1911. *Schmidt, Joh.*, Biology of the Eel-fishes, especially of the Conger. Nature Vol. 86.
44. 1912. —, Contributions to the Biology of some North Atlantic species of Eels. Videnskabelige Meddelelser fra den Naturh. Forening i Kjøbenhavn Vol. 64.
- \*45. 1912a. —, Life History of the Freshwater-Eel. Int. Rev. d. ges. Hydrol. usw. Bd. 5.
46. 1912. *Cligny, A.*, Captures d'anguilles en pleine mer, Ann. Stat. aquicole de Boulogne, Nouvelle série 1912, T. II.
47. 1912a. —, Migration marine de l'anguille commune. C. R. Ac. Sc. Paris Séance du 11 mars 1912, T. 154.
- \*48. 1913. *Schmidt, Joh.*, First report on Eel Investigations Cons. intern. pour l'Expl. de la mer; Rapports et Procès-verbaux Vol. 18.
1913. *Grassi, B.*, Sullo sviluppo dei murenoidi, Jena.
- \*49. 1914. *Schmidt, Joh.*, On the Classification of the Fresh-Water Eels (*Anguilla*). Meddel. fra Kom. for Havunders., Ser. Fiskeri Vol. 4, Nr. 7, Copenhagen.
- \*50. 1915. —, Second rapport on Eel Investigations. Cons. intern. pour l'Expl. de la mer; Rapp. et Procès-verbaux Vol. 23.
- \*51. 1916. —, On the Early Larval Stages of the Fresh-Water Eels (*Anguilla*) and some other North Atlantic Muraenoids. Meddel. fra Kom. for Havunders., Serie Fiskeri, Vol. 5, Nr. 4, Copenhagen.
- \*52. 1919. —, Stations in the Atlantic etc. *ibid.* Vol. 5, Nr. 7, Copenhagen.
1919. *Grassi, B.*, Nuove ricerche sulla storia naturale dell'Anguilla. R. Comitato Talassografico Italiano, Memoria LXVII, Venezia.

## Die Unregelmäßigkeit (Arhythmie) des Herzschlages.

Von C. J. Rothberger, Wien.

Die meisten Laien glauben, daß das gesunde Herz ganz regelmäßig schlägt, und daß eine unregelmäßige Tätigkeit schon ein Zeichen von Krankheit ist. Da nun die unregelmäßige Herztätigkeit, besonders wenn sie der Laie an sich selbst entdeckt, aber auch von vielen Ärzten für eine bedenkliche und dringend eine Behandlung erfordernde Sache gehalten und nicht selten nur aus der Arhythmie auf eine Erkrankung des Herzmuskels geschlossen wird, dürfte es sich empfehlen, auch weitere Kreise von den der Unregelmäßigkeit des Herzschlages zugrunde liegenden Vorgängen zu unterrichten; mancher, der von dem Gedanken bedrückt ist, ein Herzleiden zu haben, wird vielleicht durch diese Aufklärung



beruhigt werden. Aber abgesehen von diesem praktischen Gesichtspunkte dürfte eine kurze Zusammenfassung der unregelmäßigen Herztätigkeit auch vom theoretischen Standpunkte willkommen sein, denn es gibt kaum ein zweites Gebiet in der Medizin, das durch die in jüngster Zeit geleistete vielfache Arbeit so gründlich erforscht und so gut aufgeklärt worden ist. Eine historische Darstellung würde, so interessant sie auch wäre, den hier zu Gebote stehenden Raum überschreiten, und ich muß mich daher darauf beschränken, in kurzen Zügen das Wichtigste zusammenzustellen, soweit es sich ohne weit-schweifige Einleitung allgemeinverständlich darstellen läßt.

Der normale Herzschlag entsteht im *Sinusknoten*, einem kleinen, am Übergang der oberen Hohlvene in den rechten Vorhof gelegenen Organ.

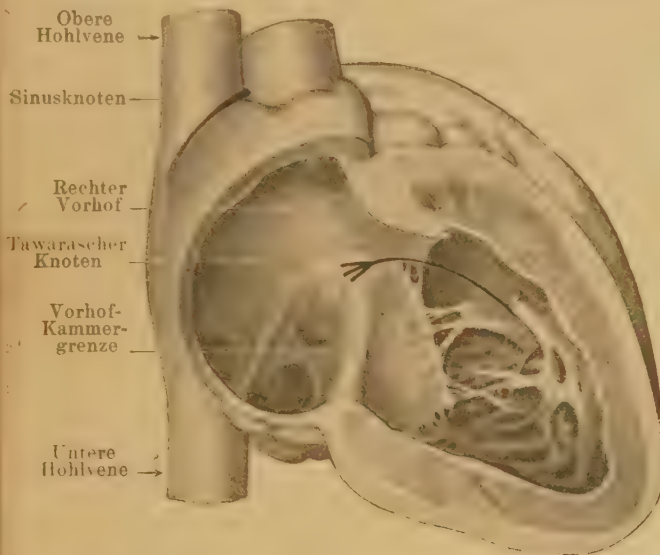


Fig. 1. Situationsplan des Reizbildungs- und Reizleitungssystems im menschlichen Herzen (nach Koch).

Ich gebe zunächst in Fig. 1 einen Situationsplan des Reizbildungs- und Reizleitungssystems im menschlichen Herzen. Dieses aus spezifischen Muskelfasern bestehende System spielt bei der Entstehung der verschiedenen Arten von unregelmäßiger Herztätigkeit eine ausschlaggebende Rolle. In der Figur ist das Herz von der rechten Seite dargestellt, und die Außenwand des rechten Vorhofes und der rechten Kammer ist weggeschnitten, so daß man in das Herzzinnere hineinschauen kann. Man sieht ganz links, von oben nach unten verlaufend, die obere und die untere Hohlvene, durch die das Blut dem Herzen zugeführt wird, nach rechts anschließend den rechten Vorhof und noch weiter nach rechts die durch die größere Wanddicke gekennzeichnete rechte Kammer. Der oben in der Figur eingezeichnete schwarze Strich zeigt die Lage des Sinusknotens an. Dieser stellt einen Überrest des primitiven Herzschlauches dar und besteht aus Muskelfasern, enthält aber auch zahlreiche

nervöse Elemente, und zwar sowohl Ganglienzellen als auch Nervenfasern, die mit den extrakardialen Nerven Vagus und Accelerans in Verbindung stehen. Diese Nerven bestimmen das Tempo der Herztätigkeit; der Vagus wirkt verlangsamend, der Accelerans beschleunigend. Die im Sinusknoten rhythmisch gebildeten Erregungen gehen dann auf die Vorhöfe über, bringen sie zur Kontraktion und erreichen nach einer deutlichen Pause — der Überleitungszeit — die Kammern, worauf auch diese sich zusammenziehen und dadurch Herzstoß und Puls erzeugen. Die Frequenz des Herzschlages, das ist die Zahl der Systolen (Herzschläge) in der Minute, wird, abgesehen vom Zustande des Sinusknotens, was für normale Verhältnisse nicht in Betracht kommt, vom Tonus der Herznerven bestimmt. Bei stärkerer Erregung des Vagus schlägt das Herz langsam, und wenn man auf den neben der Halsschlagader liegenden Vagusstamm drückt, kann man bei vielen Menschen das Herz durch mehrere Sekunden ganz stillstellen. Dieser diagnostisch wichtige „Vagusdruckversuch“ darf aber nur von genügend geschulten Ärzten ausgeführt werden. Die Erregung der Accelerantes beschleunigt den Herzschlag, und so entsteht die Pulsbeschleunigung bei Aufregung und bei körperlicher Arbeit. Es bleibt dabei, was zum Unterschied von gewissen Arten von „Herzklopfen“ wichtig ist, die normale Reizbildung im Sinusknoten erhalten und dieser bleibt der führende Herzteil.

Die im Sinusknoten gebildeten Erregungen gehen dann, wie jetzt angenommen wird diffus, das heißt an sehr vielen Stellen auf die Vorhöfe über und treffen an der Vorhofkammergrenze auf den Beginn des in den Kammern gelegenen *Reizleitungssystems*, worauf sie in anatomisch darstellbaren Leitungsbahnen sich auf die verschiedenen Teile der Kammern in bestimmter Reihenfolge verteilen. Dieses Reizleitungssystem besteht aus besonders gebauten Muskelfasern und setzt sich aus mehreren Abschnitten zusammen: An der Vorhofkammergrenze liegt zunächst der *Tawarasche Knoten*, benannt nach dem Japaner *Tawara*, der ihn unter *Aschoffs* Leitung entdeckte. Dieser Knoten geht dann in das parallelfaserige *Hissche Bündel* über. Dieser schmale, mit unbewaffnetem Auge aber noch sichtbare Strang bildet den einzigen Weg, der den vom Vorhof kommenden Erregungen offen ist. Das Hissche Bündel teilt sich dann in die beiden *Tawaraschen Schenkel*, von welchen der eine im linken, der andere im rechten Ventrikel gegen die Herzspitze zu zieht, sich dort wie ein verkehrt stehender Baum in Zweige auflöst, die dann ihrerseits wieder gegen die Herzbasis hinaufziehen und dort überall mit den Herzmuskelfasern in Verbindung treten. Auf diesem Wege bekommen je nach der Länge des betreffenden Zweiges die verschiedenen Kammerteile sehr rasch hintereinander, aber doch in bestimmter

Reihenfolge die Aufforderung, sich zusammenzuziehen.

Tawarascher Knoten, Hissches Bündel und rechter Schenkel sind in Fig. 1 ebenfalls schwarz eingezeichnet. Die Fig. 2 und 3 zeigen die Lage der beiden Schenkel beim Hundeherzen. In beiden Figuren sind die Kammern eröffnet dargestellt und man sieht also auf die Kammercheidewand. In Fig. 2 ist der linke Schenkel schwarz eingezeichnet: er verläuft als breites Band unmittelbar unter der Innenhaut (Endokard) des Herzens und verzweigt sich dann in der in der Figur angegebenen Weise. Oben ist auch die Fortsetzung in das Hissche Bündel und den Tawaraschen Knoten zu sehen, dieser Teil ist



Fig. 2. Verlauf des linken Schenkels beim Hundeherzen (nach Tawara).

*a* Aorta, *P* Pulmonalis, *vsd* rechte Aortenklappe, *vsp* hintere Aortenklappe, *mpa* vorderer Papillarmuskel, *mmp* hinterer Papillarmuskel, *vma* vorderes Mitralissegel, *vmp* hinteres Mitralissegel, *TK* Tawarascher Knoten, *x* Teilungsstelle des Verbindungsbündels in die beiden Schenkel, + Endausbreitungen des linken Schenkels, ++ von der Spitze des hinteren Papillarmuskels nach aufwärts, frei durch die Ventrikelhöhle verlaufender sehnenfadenartiger Strang, welcher einen Zweig des linken Schenkels erhält.

aber punktiert gezeichnet, weil er nicht mehr unmittelbar unter dem Endokard liegt, sondern in der Muskulatur der Kammercheidewand an deren oberen Rande verläuft. Die Fig. 3 zeigt den Verlauf des rechten Schenkels. Man sieht zunächst eine knotenförmige Anschwellung, das ist der Tawarasche Knoten, und dann anschließend das Bündel und den rechten Schenkel, der in einem nach links offenen Bogen nach abwärts verläuft und sich dann in viele Zweige auflöst.

Wenn wir uns nun fragen, auf welche Art die Herztätigkeit unregelmäßig werden kann, so können wir folgende Ursachen der Arrhythmie unterscheiden: 1. Störungen der Reizbildung, 2. Störungen der Reizleitung und 3. Störungen der Kontraktilität. Eine vierte Möglichkeit, die

Störung der Reizbarkeit, hat mehr theoretisches Interesse und mag hier übergangen werden.

### 1. Die Störungen der Reizbildung.

Eine abnorme Beschleunigung (*Tachykardie*) oder Verlangsamung (*Bradykardie*) des Herzschlages gehört streng genommen nicht hierher, weil sie den Herzschlag nicht unregelmäßig machen. Das gesunde Herz des Erwachsenen schlägt ungefähr 60—70mal in der Minute, es kommen aber da nicht unbeträchtliche Abweichungen vor. Es gibt Gesunde, deren Herz sehr langsam schlägt — so soll Napoleon nur 40—50 Pulse gehabt haben —, und andere, besonders Frauen, die einen rascheren Herzschlag haben.



Fig. 3. Verlauf des rechten Schenkels beim Hundeherzen (nach Tawara).

Eine abnorm beschleunigte Herztätigkeit findet man bei Nervösen nach Aufregung und körperlicher Anstrengung, im Fieber, bei der Basedowschen Krankheit und bei Kranken mit stark geschädigtem Herzmuskel. Eine abnorm langsame Herztätigkeit findet man bei Erregung des Vagus, bei mangelhafter Ausbildung der Schilddrüse (Myxödem) und bei gewissen Vergiftungen.

Wenn wir uns nun aber der unregelmäßigen Herztätigkeit bei normalem Reizursprung zuwenden, so müssen wir zunächst feststellen, daß die eingangs erwähnte Ansicht, das gesunde Herz schlage ganz regelmäßig, gar nicht richtig ist. Wenn man nur den Puls oder den Herzstoß fühlt, mag es allerdings so scheinen; wenn man die Herzschläge aber mit mechanischen Methoden



oder elektrographisch aufzeichnet und eine genügend feine Zeitschreibung dabei anwendet, stellt sich heraus, daß das Herz fast nie regelmäßig schlägt; es finden sich immer kleinere oder größere Unterschiede in der Länge der einzelnen Herzperioden, d. i. in der Zeit, um die zwei aufeinanderfolgende Herzschläge voneinander getrennt sind. Eine ganz bestimmte Unregelmäßigkeit, die man als *Sinus- oder respiratorische Arrhythmie* bezeichnet, kommt dadurch zustande, daß die Atembewegungen den Vagus erregen, so daß das Herz bei der Ausatmung langsamer, bei der Einatmung rascher schlägt. Dieser periodische Wechsel in der Schlagfrequenz ist ein ganz normaler Vorgang, der insbesondere bei jungen Leuten deutlich ausgesprochen ist und deshalb auch als *juvenile Arrhythmie* bezeichnet wird. Sie findet sich aber auch bei Erwachsenen gar nicht selten und ist, wie gesagt, bei entsprechend genauer Untersuchung fast immer zu konstatieren. Diese Form der unregelmäßigen Herztätigkeit ist ganz normal, ja *Mackenzie*, der neben *Wenckebach* den Grund zu unseren heutigen Kenntnissen über die Arrhythmie gelegt hat, betrachtet die respiratorische Arrhythmie geradezu als ein Zeichen dafür, daß der Herzmuskel gesund ist. Wenn sich nach einer fieberhaften Erkrankung diese Arrhythmie findet, sei dies ein Beweis, daß das Herz von der Infektion nicht ergriffen worden ist. Bei der respiratorischen Arrhythmie ist die Reizbildung im Sinusknoten selbst infolge des periodisch wechselnden Tonus der Herznerven unregelmäßig, dagegen erfolgt der Erregungsablauf über das Herz in der gewöhnlichen Weise: es ziehen sich also zunächst die Vorhöfe und dann die Kammern zusammen, es besteht, wie man sagt, „normale Sukzession“.

**Die Extrasystolen.** Der im Sinus gebildete Rhythmus kann durch einen an einer anderen Stelle (Sinus, Vorhof oder Kammer) gebildeten Reiz gestört werden. Man kann dies im Tierversuch am bloßgelegten Herzen leicht dadurch erreichen, daß man eine Stelle des Vorhofes oder der Kammer berührt oder mit einem elektrischen Schläge reizt, der natürlich nicht zu stark sein darf. Ein solcher Extrareiz löst gewöhnlich eine „Extrasystole“, d. h. eine vorzeitige Kontraktion aus, aber nur dann, wenn der betreffende Herzteil gerade ruht, also während seiner Diastole. Denn der im Zustande der Kontraktion (Systole) befindliche Herzmuskel ist neuen Reizen nicht zugänglich, und man bezeichnet daher diese Zeit als die „*refraktäre Periode (oder Phase)*“. Wenn man nun den Vorhof oder die Kammer durch einen künstlichen Reiz zur Kontraktion bringt, entsteht eine Rhythmusstörung, und diese besteht darin, daß die künstlich und vorzeitig ausgelöste Kontraktion von einer ungewöhnlich langen Pause gefolgt ist. Am einfachsten ist diese Rhythmusstörung bei den an der Kammer ausgelösten (ventrikulären) Extrasystolen zu erklären und wir bedienen uns zu diesem Zweck des in

Fig. 4 dargestellten Schemas. Die obere Linie zeigt in Abständen von je 36 Hundertstel-Sekunden die regelmäßig aufeinanderfolgenden Vorhofkontraktionen an, wie sie nacheinander von den vom Sinusknoten herüberkommenden Erregungen ausgelöst werden. Darunter führen schiefe Striche zum unteren Teile der Figur (Kammer). Die Striche sind schief gezeichnet, weil damit ausgedrückt werden soll, daß der Reiz einige Zeit braucht, um vom Vorhof auf die Kammer überzugehen. Die Kammer zieht sich aber auch regelmäßig in Zwischenräumen von je 0,36" zusammen. Der erste Teil dieser Einzelintervalle ist schraffiert gezeichnet und stellt die Dauer der refraktären Phase dar, wo die Kammer auf neue Reize nicht anspricht (Systole), der zweite Teil des Intervalles ist hell gelassen (Diastole). Wenn nun bei *E* die Kammer durch einen künstlichen Reiz vorzeitig zur Kontraktion gebracht wird, trifft der dritte Vorhofreiz gerade mit der refraktären Phase der Extrasystole zusammen, er bleibt also unwirksam und es folgt nun eine lange Pause, bis der nächste Vorhofreiz herunterkommt (man sieht, daß auf die vorzeitige Kontraktion *E* ein längeres weißes Feld folgt). Der Rhythmus ist gestört worden, denn

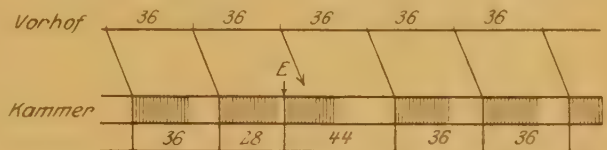


Fig. 4. Vollständige Kompensation der durch eine ventrikuläre Extrasystole verursachten Rhythmusstörung.

während das normale Intervall 36 beträgt, ist die Extrasystole schon nach 28 eingetreten; es folgt nun das lange Intervall 44, und man sieht, daß die nach der Pause folgende Kammerkontraktion genau zu der Zeit kommt, zu der sie auch gekommen wäre, wenn keine vorzeitige Kontraktion dagewesen wäre ( $28 + 44 = 72 = 2 \times 36$ ). Die Rhythmusstörung ist also ausgeglichen, *kompensiert*, und man sagt deshalb, daß ventrikuläre Extrasystolen von einer vollständig kompensierenden Pause gefolgt sind. Der Ausdruck Kompensation sollte ursprünglich ausdrücken, daß das Herz für seine Extraleistung durch eine längere Ruhe entschädigt wird. Diese Vorstellung ist aber nicht richtig, sondern die Pause ist deshalb kompensierend, weil die Kammer auf den nächsten Vorhofreiz warten muß und dieser eben nicht früher kommt, als er auch sonst gekommen wäre. Wenn man statt der Kammer den Sinusknoten reizt, entsteht keine Pause, sondern es folgt auf den Reiz ein Normalintervall, weil dem Sinusknoten der Reiz nicht zugeleitet wird. Wenn man den Vorhof reizt, entsteht gewöhnlich eine Pause, die länger ist als ein Normalintervall, aber kürzer als eine kompensierende Pause. Dies hat darin seinen

Grund, daß die durch den künstlichen Reiz erzeugte Erregung auf den Sinusknoten zurückläuft und dort eine Extrasystole erzeugt, auf die dann ein Normalintervall folgt. Nur wenn die Vorhofextrasystole so spät gesetzt wird, daß sie den Sinusknoten nicht mehr rechtzeitig erreichen kann, ist auch sie von einer vollständig kompensierenden Pause gefolgt. Dies soll die Fig. 5 deutlich machen, in welcher auch für den Sinus die refraktäre Phase eingezeichnet ist. Das Normalintervall beträgt 80; die erste Vorhofextrasystole  $E_1$  wird nach 60 erzeugt, also ziemlich

Herzschlages, worüber sie sich nicht wenig aufregen. Wieder andere fühlen die nach der Pause auftretende erste Normalkontraktion als heftigen Schlag in der Brust. Diese erste Kontraktion ist nämlich gewöhnlich auch besonders kräftig, und zwar aus mehreren Gründen: erstens füllt sich das Herz während der langen Pause mehr mit Blut und es entsteht dadurch bei der nächsten Kontraktion ein starker Puls, dann sammelt das Herz während der langen Pause mehr Kraft und zieht sich dann stärker zusammen, und endlich entsteht ein starker Puls auch dadurch, daß in

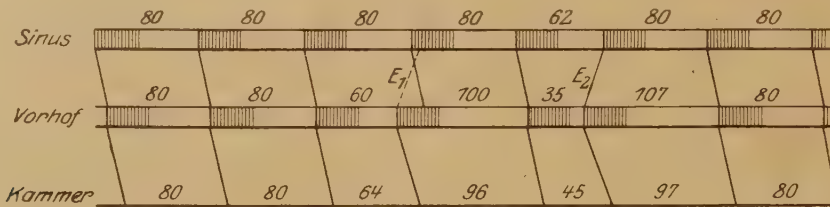


Fig. 5. Aurikuläre Extrasystole mit vollständiger ( $E_1$ ) und unvollständiger Kompensation ( $E_2$ ).

spät, die zurücklaufende Erregung fällt mit der refraktären Phase des Sinus zusammen und bleibt also wirkungslos, und es folgt die vollständig kompensierende Pause 100 ( $60 + 100 = 160 = 2 \times 80$ ). Die zweite Vorhofextrasystole  $E_2$  tritt schon nach 35 ein, sie erzeugt im Sinus nach 62 (statt 80) eine vorzeitige Kontraktion; auf diese folgt ein Normalintervall (80) und so entsteht am Vorhof die verkürzte Pause 107 ( $35 + 107 = 142$  statt 160).

der langen Pause der Druck in der Aorta stark absinkt und das Herz gegen diesen geringeren Widerstand mehr Blut auswerfen kann als gegen normal hohen Druck. Bei älteren Leuten mit verkalkten Hirnarterien kann diese lange Pause zu einer rasch vorübergehenden Störung des Bewusstseins führen, weil das Gehirn gegen unzureichende Blutzufuhr sehr empfindlich ist. So kommt es vor, daß solche alte Leute plötzlich umfallen, aber gleich wieder zu sich kommen und

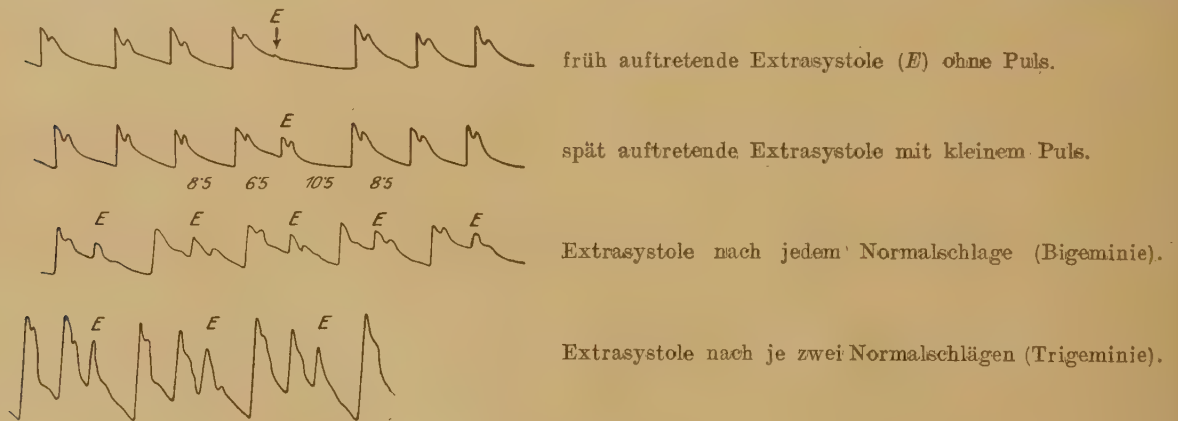


Fig. 6.

Beim Menschen sind solche Extrasystolen un-  
gemein häufig und fast immer die Ursache  
dessen, was man als aussetzenden Herzschlag  
bezeichnet. Sinusextrasystolen sind sehr selten,  
häufiger sind die Vorhofs- (aurikulären) und  
am häufigsten die Kammer- (ventrikulären)  
Extrasystolen. Diese können im rechten oder  
im linken Ventrikel entstehen und geben oft zu  
sehr unangenehmen und alarmierenden Empfin-  
dungen Anlaß. Während viele Menschen gar  
nicht merken, daß sie Extrasystolen haben, fühlen  
andere die lange Pause als ein Aussetzen des

ganz erstaunt darüber sind, daß sie am Boden  
liegen. Sonst haben die Extrasystolen, besonders  
bei jüngeren Leuten, so sehr sie den davon Be-  
troffenen auch ängstigen mögen, nur eine sehr  
geringe oder gar keine Bedeutung; es ist jeden-  
falls ganz falsch, aus dem Vorkommen von  
Extrasystolen allein auf eine Erkrankung des  
Herzmuskels zu schließen und eine Behandlung  
anzuordnen. Gerade die erfahrensten Kenner  
und Erforscher der Herzkrankheiten, vor allem  
*Mackenzie* und *Wenckebach*, haben in jüngster  
Zeit eindringlich darauf aufmerksam gemacht,



daß die Bedeutung der Extrasystolen nicht nur von den Laien, sondern auch von sehr vielen Ärzten stark überschätzt wird. Die meisten Leute, die Extrasystolen haben, können ein hohes Alter erreichen, und andererseits kommen gerade bei Menschen, die ein schweres Herzleiden haben, Extrasystolen gar nicht oft vor.

Die Extrasystolen können einzeln in sehr verschieden langen Zwischenräumen auftreten oder in längeren oder kürzeren Reihen hintereinander oder in regelmäßiger Anordnung, nach jedem Normalschlage (Bigeminie) (Fig. 11), nach je zwei Normalschlägen (Trigeminie) usw. Die Fig. 6 zeigt solche Pulsbilder: die kleinen mit *E* bezeichneten Pulse sind immer die Extrasystolen. Die Größe des von der Extrasystole erzeugten Pulses hängt davon ab, wann die Extrasystole eintritt; gewöhnlich ist der Puls kleiner als bei den Normalschlägen, weil die Extrasystole vorzeitig ist; wenn sie aber sehr spät auftritt, kann sie einen Puls von fast normaler Größe machen, so daß man beim Pulsfühlen gar nichts merkt; wenn die Extrasystole sehr früh kommt, macht sie gar keinen Puls, die Kontraktion ist dann so schwach und die Füllung des Herzens so unvollständig, daß die Klappen gar nicht geöffnet werden, so daß kein Blut gefördert wird; das Herz zieht sich also zusammen, ohne damit etwas zu leisten (*frustrane Kontraktion*), und so entsteht im Puls eine Pause, die so lang ist wie zwei Normalintervalle, so als ob das Herz sich in der Zwischenzeit gar nicht kontrahiert hätte.

An den Pulsbildern der Fig. 6 kann man nicht erkennen, ob die Extrasystolen im Vorhofe oder in der Kammer entstehen, ja man ist nicht einmal sicher, ob es überhaupt Extrasystolen sind, denn ganz ähnliche Bilder können auch durch andere Störungen entstehen. Die gleichzeitige Aufnahme des Venenpulses am Halse oder noch besser die Aufnahme des Elektrokardiogramms gestattet jedoch die sichere Unterscheidung dieser verschiedenen Formen von Arrhythmie. Die Aufnahme von Venenpulskurven erfordert viel Übung und die Deutung ist oft sehr schwer. Wir können deshalb hier darauf nicht eingehen. Für die Erkennung der Arrhythmien leistet übrigens das Elektrokardiogramm (Ekg) meist bessere Dienste. Es läßt sich bei jedem Kranken leicht und ohne Belästigung aufnehmen und gibt fast immer sicheren Aufschluß.

Das Ekg entsteht dadurch, daß das Herz so wie jeder andere Muskel bei seiner Kontraktion einen elektrischen Strom erzeugt, der sich im ganzen Körper verbreitet und von der Körperoberfläche nach Anfeuchtung der Haut abgeleitet werden kann. Es werden die beiden Arme und das linke Bein des zu Untersuchenden mit dem stromanzeigenden Saiten-Galvanometer verbunden und die Bewegungen des in diesem befindlichen Platinfadens werden auf einem lichtempfindlichen Papierstreifen photographiert; man nimmt meist gleichzeitig die Schwingungen einer

Stimmgabel auf und bekommt dadurch eine Zeitschreibung in  $\frac{1}{50}$  oder  $\frac{1}{100}$  Sekunden. Das normale Ekg (Fig. 7) zeigt in der Hauptsache drei Zacken, die man mit den Buchstaben *P*, *R* und *T* bezeichnet. Die Zacke *P* wird durch die Vorhofsystole erzeugt, die Zacken *R* und *T* durch die Kontraktion der Kammern. Wenn eine Extrasystole im Vorhof entsteht, sieht man an der betreffenden Stelle der Kurve die drei Zacken *P*, *R* und *T* vorzeitig auftreten, aber in derselben Beziehung zueinander wie bei den Normalschlägen, weil die Sukzession von Vorhöfen und Kam-

*P R T*

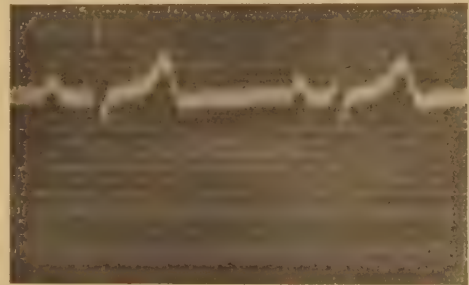


Fig. 7. Normales Elektrokardiogramm.

mern ungestört ist (Fig. 8). Vorhofextrasystolen, die in anderen Teilen der Vorhöfe entstehen, haben anders geformte *P*-Zacken, so daß man auch ungefähr sagen kann, in welchem Teile des Vorhofs der abnorme Reiz gebildet worden ist, was mit keiner anderen Methode zu erreichen ist. Wenn die Extrasystolen in der Kammer entstehen, fehlt die *P*-Zacke und das Ekg zeigt eine ganz andere Form für den Kammerkomplex. Die

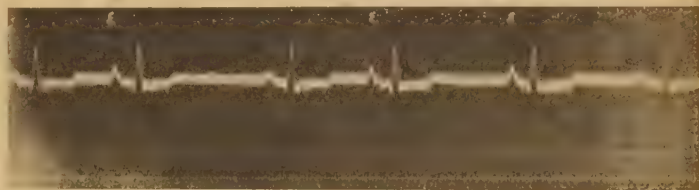


Fig. 8. Vorhofsextrasystolen (*E*) mit positiver, aber von der Normalform abweichender Vorhofzacke.

Extrasystolen, die vom rechten Ventrikel ausgehen, haben ein Ekg, wie es Fig. 9 zeigt: zuerst eine große nach aufwärts gerichtete, dann eine breite abwärts gekehrte Schwankung. Die Extrasystolen, die in der linken Kammer entstehen, haben die umgekehrte Form (Fig. 10). In beiden Figuren sind über dem Ekg die mechanischen Verkürzungskurven des Vorhofs und der Kammer aufgenommen, zuunterst die Stimmgabelschwingungen in  $\frac{1}{50}$  Sekunden. Auch hier ist also eine Lokalisation des Ausgangspunktes der Extrasystolen nur durch das Ekg zu erreichen und dabei ergeben sich noch weitere Verschiedenheiten, indem verschiedene Teile einer Kammer auch verschiedene Elektrogramme geben. Fig. 11 zeigt eine Bigeminie beim Menschen; nach jedem

Normalschläge tritt, immer in demselben Abstände von diesem, eine Extrasystole auf, die, wie das Ekg zeigt, von der rechten Kammer ausgeht.

Die Extrasystolen können, wie gesagt, im Tierexperiment leicht durch Reizung der Herzoberfläche erzeugt werden. Beim Menschen entstehen sie jedenfalls nicht durch äußere Reize, es ist aber über die feineren zur Entstehung von Extrasystolen führenden Vorgänge so gut wie nichts bekannt, wenn auch die Umstände, unter denen sie auftreten, schon vielfach erforscht worden sind. Nach neueren Untersuchungen (*Kauf-*

*Paroxysmale Tachykardie, Flattern und Flimmern.* Das Schlagtempo des gesunden Herzens wird deshalb vom Sinusknoten bestimmt, weil dieser mit seiner Reizbildung am raschesten fertig wird. Daß es noch andere Stellen im Herzen gibt, die ebenfalls zu rhythmischer Reizbildung befähigt sind, ist sicher. Diese Stellen, die man als untergeordnete Zentren bezeichnet, liegen zum Teil im Vorhof, zum Teil an der Vorhof-Kammergrenze, u. zw. im Tawaraschen Knoten und endlich in den Kammern selbst, wahrscheinlich in den Verzweigungen des Reizleitungs-

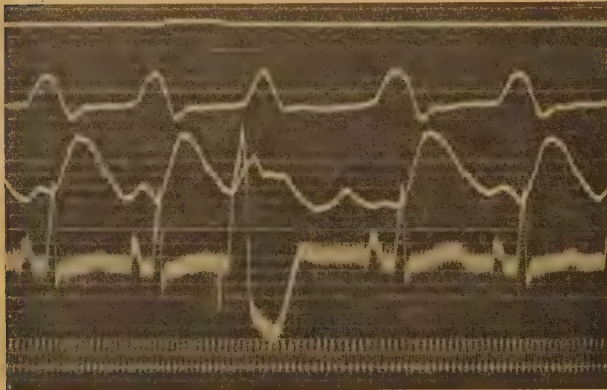


Fig. 9. Extrasystole von der rechten Kammer.

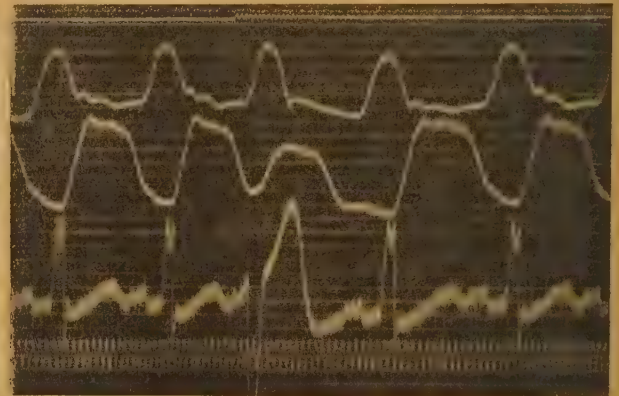


Fig. 10. Extrasystole von der linken Kammer.

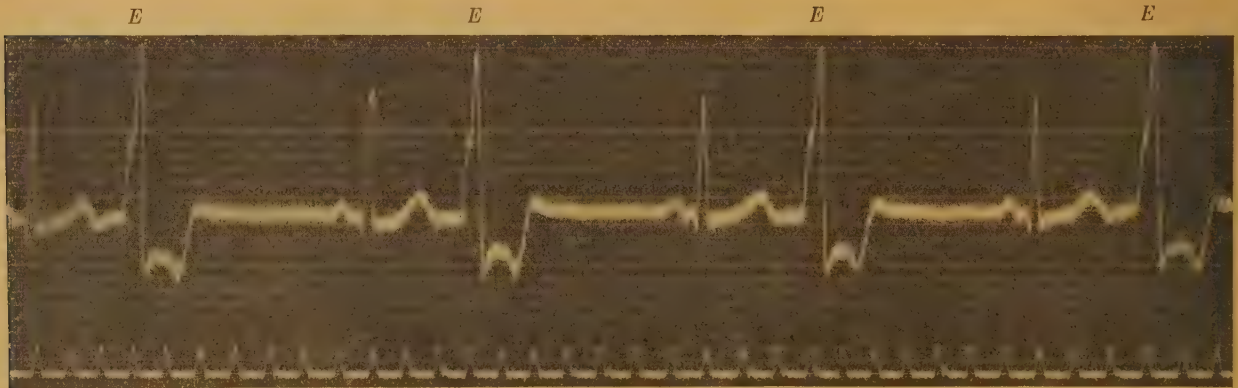


Fig. 11. Ventrikuläre Bigeminie durch Extrasystolen vom rechten Ventrikel. Zeit in  $\frac{1}{5}$  Sek.

*mann* und *Rothberger*) ist es nun schon für eine Reihe von Fällen sichergestellt, daß einzelne Extrasystolen dadurch entstehen können, daß neben dem Sinusknoten ein anderer, an abnormer Stelle sitzender Reizherd tätig ist, der ebenfalls rhythmisch arbeitet, aber nicht alle Reize an den Herzmuskel abgeben kann. Die Extrasystolen beruhen also in diesen Fällen auf einer Interferenz zweier Rhythmen, die *Kaufmann* und *Rothberger* als „*Parasystolie*“ bezeichnen. Das führt uns nun zu den Fällen, wo Rhythmusstörungen dadurch entstehen, daß ein untergeordnetes Reizbildungszentrum den normalen, im Sinusknoten gelegenen Schrittmacher in den Hintergrund drängt.

systems. Diese Stellen brauchen aber zur Reizbildung längere Zeit, sie können nicht so viele Reize in der Minute fertig bringen und werden deshalb durch den rascher arbeitenden Sinusknoten, der seine Erregungen über das ganze Herz ausschickt, immer wieder gestört, so daß sie beim Gesunden nicht dazu kommen, einen fertigen Reiz an das Herz abzugeben. Wohl geschieht dies aber dann, wenn aus irgend einem Grunde die von oben kommenden Erregungen gar zu lange auf sich warten lassen, z. B. bei den Leitungsstörungen; dann verhilft die Reizbildung der untergeordneten Zentren einen bedrohlichen Herzstillstand. Endlich kann unter pathologischen Verhältnissen ein solches untergeord-



netes Zentrum in seiner Reizbildungsfähigkeit so gefördert werden, daß es rascher arbeitet als der Sinusknoten, und dann bestimmt dieses zweite Zentrum das Tempo des Herzens und der Sinusknoten kommt nicht mehr zur Geltung, so wie es früher beim untergeordneten Zentrum der Fall war. So entstehen die Störungen, die man als „*paroxysmale Tachykardie*“ oder als *Herzjagen* bezeichnet. In diesen Fällen tritt die Beschleunigung der Herztätigkeit nicht allmählich auf, wie bei Anstrengung, sondern plötzlich; die Frequenz des Herzschlages springt mit einem Male von etwa 70–80 auf 150, 200 und noch mehr. Ein solcher Anfall kann ganz kurz sein; aber auch Tage und Wochen lang dauern. Die Aufnahme des Elektrokardiogramms zeigt in solchen Fällen, daß die Herztätigkeit während des Anfalles von einem anderen Punkt ausgeht, u. zw. liegt dieser abnorme Reizherd gewöhnlich im Vorhof, seltener in der

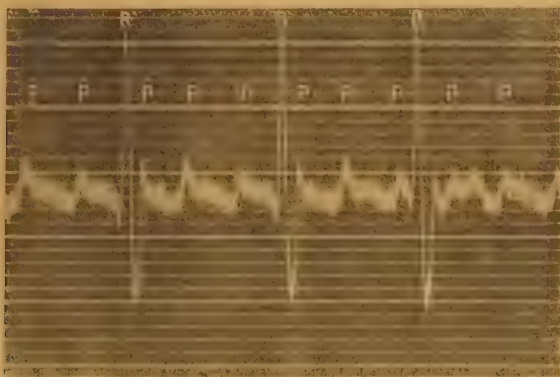


Fig. 12. Vorhofflattern (Mensch). Vorhoffrequenz 240, unregelmäßige Blockierung, arhythmische Kammer-tätigkeit.

Kammer. Wenn der Anfall aufhört, fällt die Frequenz ebenso plötzlich zur Norm ab und der Kranke fühlt sofort den Eintritt der Erleichterung. Oft findet man außerhalb des Anfalles Extrasystolen, die von demselben Punkte ausgehen, der im Anfall das Tempo der Herztätigkeit bestimmt; nach der Vorstellung von Kaufmann und Rothberger wäre das so zu erklären, daß der abnorme Reizherd nur einzelne Extrasystolen erzeugt, wenn er infolge einer Blockierung nur hier und da einen Reiz an das Herz abgeben kann, während sofort das Herzjagen entsteht, wenn diese Blockierung aufgehoben ist und alle Erregungen an die Herzmuskelfasern übergehen. Im Anfall schlägt das Herz außerordentlich regelmäßig und die Schlagfrequenz läßt sich so gut wie gar nicht beeinflussen, während sie unter normalen Verhältnissen durch vertiefte Atmung oder durch Druck auf den Stamm des Vagus immer etwas verlangsamt werden kann.

Einzelne Kranke können allerdings durch gewisse Kunstgriffe, wie tiefes Einatmen, Schlucken oder Pressen den Anfall zu Ende bringen, aber auch nicht immer, und auch wenn es gelingt, hört der Anfall plötzlich auf, ohne daß sich die Frequenz vorher geändert hätte.

Zu den wichtigsten und häufigsten hierher gehörenden Störungen gehört das *Vorhofflattern* und das *Vorhofflimmern*. Beim *Vorhofflattern* schlagen die Vorhöfe sehr regelmäßig ungefähr 300mal in der Minute und das Elektrokardiogramm zeigt in solchen Fällen die regelmäßig aufeinanderfolgenden *P*-Zacken in ganz gleich langen Zwischenräumen (Fig. 12). Es gehen aber nicht alle Vorhofreize auf die Kammern über, sondern nur jeder 3. oder 4., so daß die Kammern nicht 300mal schlagen, sondern nur 100- oder 75mal. Das Hische Bündel leitet nämlich gewöhnlich nicht so viele Erregungen und wirkt demnach wie ein Filter. Wenn von den 300 Vorhofreizen nur jeder 3., 4. oder 5. auf die Kammern übergeht und diese also nur 100, 75 oder 60mal in der Minute schlagen, macht das Vorhofflattern keine Störungen und kann ganz unbemerkt bleiben; es entsteht auch keine Arrhythmie, wenn die Blockierung immer genau 4:1 oder 5:1 bleibt. Gewöhnlich ist das aber nicht der Fall, es werden einmal 4 Reize zurückgehalten, gleich darauf nur 2, dann wieder 6 usw., so daß wenigstens zeitweise ein unregelmäßiger Herzschlag entsteht. Es kommt auch vor, daß die Blockierung auf 2:1 abnimmt, dann schlagen die Kammern 150 mal in der Minute und das macht schon Herzklopfen; in den Vorhöfen hat sich dabei gar nichts geändert, nur die Schleuse an der Vorhof-Kammergrenze ist anders eingestellt. Wenn die Blockierung ganz versagt, schlagen auch die Kammern 300 mal in der Minute, und dann entstehen schwere Erscheinungen, weil die Herzpause bei einer so hohen Frequenz zu kurz, die Füllung des Herzens unvollständig wird und die Kammern zu wenig Blut auswerfen. So kommt es infolge der ungenügenden Blutzufuhr zum Gehirn zu Bewußtlosigkeit, die aber sofort schwindet, wenn durch Zunahme der Reizblockierung die Frequenz der Kammern wieder auf 100 oder 75 heruntergeht.

(Schluß folgt.)

## Über geomorphologische Restformen und ihre Bedeutung für die Abtragung der Erdoberfläche.

Von B. Brandt, Berlin.

Die Abtragung der Erdoberfläche trachtet die von den gebirgsbildenden Vorgängen hervorgerufenen Höhenunterschiede zu beseitigen. Dabei durchläuft die in der Umgestaltung befindliche Landschaft eine Folge wohlcharakterisierter Phasen — von Davis als jugendlich, reif, spätreif und greisenhaft bezeichnet —, um endlich in einer „Fastebene“ ihr Ziel zu erreichen.

Bei der Betrachtung der fortgeschrittenen Stadien der Abtragung fällt nun häufig eine Erscheinung auf, die mit einem derartigen Ablaufe nicht ohne weiteres in Einklang zu bringen ist. Inmitten einer Fläche starker oder vollendeter Abtragung finden sich vereinzelt oder in Gruppen auftretende Inseln minderer Zerstörung.

Am sinnfälligsten tritt das in Erscheinung bei den *Zeugenberglandschaften*. Zeugen sind Reste in Abtragung befindlicher oder abgetragener Schichttafeln. Sie begleiten die Ränder der zurückweichenden Tafeln und zeugen nach deren völliger Zerschneidung und Auflösung von dem ursprünglichen Zusammenhange. Ohne sie würden wir über die anfängliche Ausdehnung mancher Schichttafel schlecht unterrichtet sein, ja wir würden ohne die Zeugen von der ehemaligen Existenz mancher überhaupt keine Kenntnis haben.

Ein besonders charakteristisches Beispiel eines einsamen Zeugen bietet der Hohenasperg in Württemberg, der von der zugehörigen Keuper-sandsteintafel durch einen völlig abgeräumten Zwischenraum von 10 km getrennt ist (Fig. a). Eine in letzte Zeugen aufgelöste Tafel liegt in der Küstenlandschaft des nördlichen Mosambik vor, wo ruinenartige Berge in weitem Abstände aus einer Fläche restloser Abtragung sich erheben (Fig. b). Eines der großartigsten Beispiele letzter Zeugen stellen die Tafelberge im unteren Amazonastale vor, die von der einstigen gemeinsamen Sedimentbedeckung des brasilischen und des guayanischen Hochlandes zeugen.

Wenn wir in den Zeugenberglandschaften eine Abweichung vom regelrechten Ablaufe der Abtragung erblicken, so müssen wir freilich zwei Tatsachen mit in Rechnung stellen. Daß der Gegensatz zwischen allgemeiner völliger Abtragung und örtlicher Erhaltung der Tafel maximal ist, daß Anfangs- und Endstadium der Zerstörung übergangslos nebeneinander stehen, hängt z. T. mit dem Tafelbau an sich zusammen. In der Regel wechseln härtere Schichten mit weicheren. Hangende härtere schützen liegende weichere und lenken die Abtragung aus der vertikalen mehr oder weniger in die horizontale Richtung. Ohne diese besondere Eigenschaft der in Abtragung befindlichen Oberfläche würden die Zeugenberglandschaften nicht einen so grotesken Anblick gewähren, wie sie es tun.

Zweitens müssen wir die Zeugenberglandschaften der Wüste aus unseren Betrachtungen völlig ausschließen, weil Bilder wie die angeführten zum regelrechten Formenschatze der vom Winde bearbeiteten Landschaft gehören. Hier-von ausgehend hat man sich bisweilen zu der Ansicht verleiten lassen, daß die in gegenwärtig humiden Gebieten gelegenen Zeugenlandschaften ihre Ausgestaltung in einer zurückliegenden Wüstenperiode erhalten hätten<sup>1)</sup>. Diese Annahme

ist jedoch nicht zulässig, solange nicht der Nachweis eines ehemaligen ariden Klimas geologisch und biogeographisch geführt worden ist. Überdies erscheint sie bei der weiten Verbreitung von Zeugenberglandschaften wenig wahrscheinlich.

Den Zeugenlandschaften der Schichttafeln entsprechen in anderen, vor allem in kristallinischen Gesteinen die *Inselberglandschaften*, wie sie zuerst aus dem südlichen und mittleren Afrika bekannt geworden sind. Sie sind in ihrer einfachsten, typischen Form folgendermaßen beschaffen:

Aus einer weiten, mit einer mehr oder weniger mächtigen Decke von Verwitterungsschutt eingehüllten Ebene ragen einzelne Kuppen oder Wellen des gleichen Gesteines auf (Fig. c). Die Ebene kann nichts anderes als eine Einebnungsfläche sein. Sie stellt die Endphase eines Abtragungsvorganges vor, vergleichbar dem freien Raume zwischen den Zeugenbergen. Die Ausgangsfläche der Zerstörung können wir im Gegensatze zur Tafellandschaft hier nicht mit Sicherheit wiederherstellen. Wir übertreiben aber wohl kaum, wenn wir als mittlere Ausgangsfläche der Abtragung die die Inselberggipfel verbindende Fläche annehmen. Dann ist das Verhältnis zwischen der abgeräumten und der erhaltenen Masse ein ähnliches wie bei den Zeugenberglandschaften: Innerhalb einer weiten Fläche allgemeiner fortgeschrittener Einebnung ist die Abtragung örtlich erheblich zurückgeblieben.

Es versteht sich von selbst, daß wir als Inselberge nur solche Erhebungen gelten lassen, die in Zusammensetzung und Aufbau tatsächlich genau mit ihrer Umgebung übereinstimmen, daß aber petrographisch oder tektonisch differenzierte Aufragungen ausscheiden.

Auch die Entstehung der Inselberge Afrikas hat man in eine zurückliegende wüstenhafte Klimaperiode verlegt<sup>2)</sup>. Zugegeben, daß unter der Wirkung des Windes Inselberge wohl entstehen können, steht dem genau wie bei den Zeugenbergen der mangelnde Nachweis eines solchen Klimas, vor allem aber die allgemeine Verbreitung der Inselberge entgegen.

Denn die Inselberge beschränken sich keineswegs auf Afrika, sie scheinen im Bilde des ganzen brasilischen Berglandes stellenweise eine nicht minder wichtige Rolle zu spielen. Typische Inselberge sind auch aus dem guayanischen Hochlande beschrieben worden<sup>3)</sup>. Unter anderen Formen gehören vorzugsweise die bekannten dom- oder glockenförmigen Granitberge hierher.

Erhebungen mit den Merkmalen von Inselbergen trifft man weiter in kristallinischen Rumpfflächen der gemäßigten Breiten an. In Mitteleuropa sind den alten Rümpfen mitunter recht erhebliche Kuppen und Wellen aufgesetzt,

<sup>1)</sup> Vgl. Johannes Walther, *Geologie Deutschlands*, 3. Aufl., S. 365.

<sup>2)</sup> Vgl. hierüber Passarge, *Geologische Beobachtungen in den Tropen und Subtropen* in Keilhacks *Lehrbuch d. prakt. Geologie*.

<sup>3)</sup> P. P. Bauer, *NW-Amazonien*, Brunn 1919, S. 60 f.



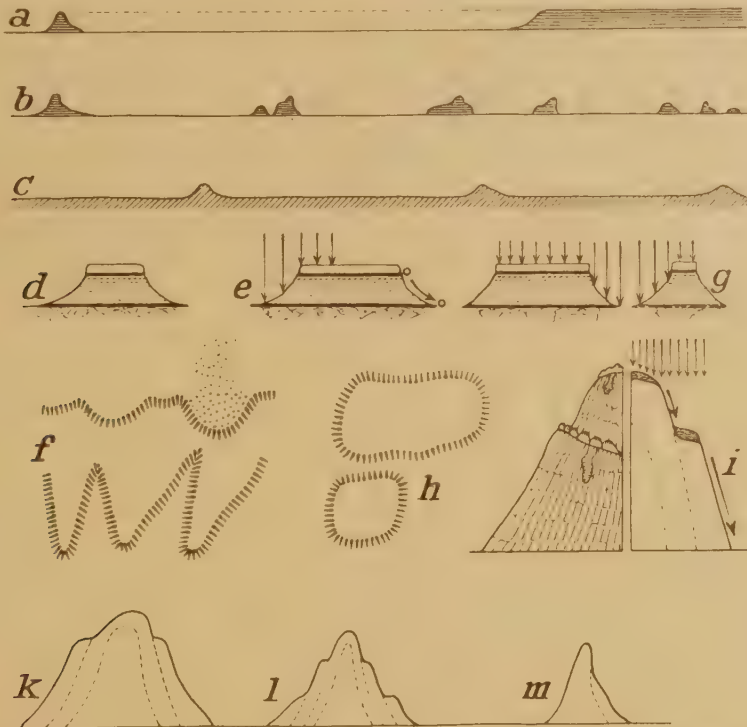
die sich meist nicht als „Härtlinge“ erweisen. Und das gleiche gilt für manche der amerikanischen „Monadnocks“, die bei näherer Untersuchung der vermeinten besonderen Härte ermangelten. In diesem Falle aber sind beide als Inselberge aufzufassen.

Ob Inselberge auch in anderen als kristallinen Rumpfflächen vorkommen, kann hier nicht erörtert werden; es ist aber wahrscheinlich. Denn es gibt wohl überhaupt kaum eine Rumpffläche, die vollkommen eben wäre, wie es bei abgeschlossener Abtragung sein sollte. Hat sie aber vereinzelt, aus örtlicher Besonderheit nicht erklärbare Aufragungen, sie seien hoch oder

ständige Begleiter stark erniedrigter kristallinischer Gebirge und als solche z. B. auch dem brasilischen Berglande nicht fremd.

Indem wir die allen angeführten Formen gemeinsame Eigenschaft, Orte minderer Zerstörung in Gebieten fortgeschrittener Abtragung zu sein, in den Vordergrund rücken, verschmelzen die Zeugen- und Inselberge, ihre Kleinformen und die letzten Bodenwellen der Rumpfflächen zu einer Formeinheit, die wir, weil sie Reste eines früheren, größtenteils verschwundenen Reliefs sind, als *Restformen* bezeichnen.

Die Restformen sind, wie die angeführten, leicht zu vermehrenden Beispiele zeigen, über



a Zeugenberg Hohenasperg, b Zeugenlandschaft 100 km nördlich von Mosambik, c Inselberglandschaft, d-h Aufbau, Entwässerung und Umgestaltung von Tafelbergen aus der Eozänstufe des nordfranzösischen Beckens, i-m Aufbau, Entwässerung und Umgestaltung brasilianischer Granitberge (b nach Ansichtsskizze des Verfassers, die übrigen Fig. schematisch).

niedrig, so fallen diese unter den Begriff der Inselberge.

Den Zeugen- und den Inselberglandschaften ist weiter eine Anzahl von Kleinformen zuzurechnen. Es sind dies die abenteuerlich anmutenden Felssäulen und Türme der Buntsandsteinlandschaften, des Elbsandsteingebirges usw., die uns namentlich interessieren, wenn sie in größerem Abstände vom zugehörigen Gesteine vorkommen und wie Fremdlinge aus abgetragener Fläche emporragen. Sie sind Zeugen kleinsten Umfanges. Den Inselbergen aber reihen sich die schroffen, ruinenförmigen Felsmassen an, die den reifen Formen unserer Mittelgebirge aufgesetzt sind, also die „Klippen“ des Harzes und ähnliche Bildungen im Erz- und im Riesengebirge. Sie sind gleichfalls weit verbreitet,

weite Teile der Erdoberfläche verbreitete, an besondere Bodenformationen oder Klimazonen nicht gebundene Formen. Sie scheinen zum regelrechten Formenschatze fortgeschrittener Abtragungsvorgänge überhaupt zu gehören, was wir ja auch stillschweigend zugeben, wenn wir die Abtragung nicht in einer Ebene, sondern in einer „Fastebene“, „Peneplain“, enden lassen.

Natürlich bestehen wie in der äußeren Erscheinung der Restformen, so auch in ihrem Verhältnis zum Abtragungsvorgange graduelle Unterschiede. Wir können uns wohl vorstellen, daß eine letzte sanfte Bodenanschwellung auf der Fastebene tatsächlich der Abtragung trotzt, für den herrschenden Komplex zerstörender Kräfte unangreifbar bleibt und eine Dauerform ist. Für die hoch und schroff aufragenden Formen, vor-

nehmlich für die Zeugenberge, dürfen wir das indessen nicht annehmen; sie werden früher oder später der Zerstörung doch noch anheimfallen. Aber ihr langer Bestand innerhalb von Flächen, die längst völlig abgeräumt sind, lehrt, daß sie der Abtragung erheblichen Widerstand entgegenzusetzen, daß sie schwer zu zerstören, also Formen von relativ langer Dauer sind. Es ist in dieser Hinsicht bezeichnend, daß man die Restformen so häufig als fossil anzusehen und ihre Entstehung in die vergangene Klimaperiode zu verlegen geneigt ist. Bezüglich der Zeugen- und Inselberge wurde darauf schon hingewiesen. Für die ruinenförmige Felsmasse der Mittelgebirge aber ist neuerdings die Entstehung unter einem subpolaren Klima zur Diluvialzeit angenommen worden<sup>4)</sup>.

Wir formulieren also das in den Restformen liegende Problem wie folgt:

*Erleidet der Abtragungsvorgang in fortgeschrittenerem Stadium an sich, ganz allgemein, eine Verzögerung, welche zur Ausbildung verhältnismäßiger Dauerformen führt?*

Um einen Beitrag zu dieser nur durch zahlreiche Einzelforschungen zu lösenden Aufgabe zu liefern, seien im Folgenden die Abtragungsvorgänge an zwei einschlägigen Beispielen untersucht.

Eine hervorragende Zeugenlandschaft liegt in der Eozän tafel des nordfranzösischen Beckens vor. Gleich den Stufen des Jura und der Kreide beginnt diese Tafel mit einer steilen *côte* oder *falaise*; im Gegensatz zu jenen ist sie aber nicht nur randlich zerschnitten, sondern in ganzer Fläche in eine Unzahl von Tafelbergen, Zeugen, aufgelöst, die durch tiefe Ausräumungshohlenformen geschieden werden. In der Gegend südlich Laon weisen die Tafelberge folgenden Bau auf. (d): Über dem Sockel der oberen Kreide beginnt das Eozän mit einem Tonhorizont. Darüber liegt eine mächtige Folge horizontal gelagerter Sande. Dann folgt, unterlagert von einem zweiten Tonhorizonte, der Pariser Grobkalk, das einzige harte Gestein in der ganzen Schichtfolge.

Mit Ausnahme der beiden Tonhorizonte sind sämtliche Glieder in hohem Maße wasseraufnahmefähig. Dementsprechend nehmen die Niederschläge folgenden Weg (e): Sie treffen auf das Grobkalkdach, sickern ein und sammeln sich über der oberen Tonlage, um in Quellen ringsum auszutreten. Das in Bächen abrinnde Wasser wird am Fuße der Berge durch die vom Gehänge aufgenommenen Niederschläge gespeist und erhält hier auch die unterwegs versickerten Wassermengen zurück. Dann tritt es in die mit tonigem Boden ausgekleideten ausgeräumten Gründe ein, in denen es eine weitgehende Versumpfung herbeiführt.

<sup>4)</sup> Von Högbom und von Passarge. Vgl. Passarge, *Die Vorzeitformen der deutschen Mittelgebirgslandschaften*, Peterm. Mitt., März-April-Heft 1919.

Die Wasserführung des oberen Quellhorizontes und der Bäche schwankt je nach der Größe der Einzugsgebiete innerhalb weiter Grenzen. Größere Tafelberge mit allseitig gleichmäßig ausgedehntem Grobkalkdach verfügen über reichliches oberes Grundwasser, sind quellreich und werden von hoch ansetzenden Bächen entwässert. Dagegen sind kleinere, insbesondere auch schmale Reste der Eozänplatte trocken, quellarm und bachlos. Das erste trifft zu bei dem großen Plateau von St. Gobain, und selbst der Tafelberg von Laon vermochte früher das Wasserbedürfnis der Stadt aus seinen oberen Quellen zu befriedigen. Umgekehrt erwies sich der zum Teil gratartig verschmälte Chemin des Dames im Kriege als streckenweis vollkommen wasserlos.

Die Skulptur der Tafelberge ist durch zwei Arten von Hohlformen gekennzeichnet, durch schluchtartige Erosionstäler und durch halbkreisförmige Nischen in den oberen Abschnitten der Gehänge. Den letzteren, deren Boden bisweilen sumpfig ist, entsprechen mitunter stromartige örtliche Anschwellungen des Gehängeschuttes, der in breitem Bunde die unteren Gehängeabschnitte säumt und ihren Böschungswinkel mildert (f). Sie stellen offenbar das räumliche Positiv zu dem Negativ der Nischen dar.

Das ungemein klare Bild, das der Aufbau und die Entwässerung der Tafelberge gewähren, und die Einfachheit und Eindeutigkeit der Skulpturformen setzen uns in die Lage, von dem Ablaufe der Abtragung eine Vorstellung zu gewinnen. Wir sehen im wesentlichen zwei Vorgänge an der Zerstörung arbeiten, die Erosion, welche die Tal-schluchten geschaffen hat, und Bewegungen des Gehänges. Diese haben, allgemein wirksam, die geringere Böschung der unteren Gehängeabschnitte, örtlich aber die Nischen und die ihnen entsprechenden Schuttströme hervorgebracht. Beide Kräfte nehmen ihren Ausgang am oberen Quellhorizont.

Über den Zustand der Landschaft am Beginn des Abtragungsvorganges können wir dem gegenwärtigen Bilde nur das entnehmen, daß die Zerschneidung nicht von der oberen Schichtfläche der Eozänstufe, von der Grobkalkplatte, ausgegangen sein kann: Das Flußnetz entspricht nämlich dem gegenwärtigen Relief nur insofern, als es der allgemeinen Abdachung des nordfranzösischen Beckens folgt. Im übrigen aber zeigen die Flüsse nicht die geringste Abhängigkeit von der Stufengliederung, sondern sie fließen aus dem niedrigen Kreidevorland in die größere Höhen erreichende Eozänstufe hinein. Es liegt also nahe, daß das Entwässerungsnetz auf einer über Kreide und Tertiär hinziehenden alten Ein-ebnungsfläche angelegt worden ist — ein Problem, durch das das hier in Rede stehende nicht berührt wird.

Die Entstehung der gegenwärtigen Landschaft setzt ein nach der Durchschneidung der Grobkalkplatte. Sobald sie erfolgt war, hatte die



Erosion in den weichen Sanden und Tonen leichtes Spiel, und so mußte die Tafel in einzelne Plateaus aufgelöst werden. In dem Maße, in dem die Flüsse sich tiefer einschnitten und der Höhenunterschied zwischen ihrer Sohle und den erhaltenen Grobkalktafeln wuchs, wuchs auch die Erosionskraft der aus dem oberen Quellhorizont gespeisten Bäche, und es rissen die Schluchten sich ein. Hierdurch und durch die gleichzeitig ermöglichten Gehägebewegungen wurde dem Grobkalk die Unterlage entzogen, so daß die Dachflächen der Berge immer kleiner wurden.

Mit deren Arealabnahme aber veränderten sich die Entwässerungsbedingungen: Während das Einzugsgebiet für die unteren Quellen annähernd gleich blieb, verringerte sich das der oberen (g). So verschob sich der Schwerpunkt der Entwässerung zugunsten der unteren.

Bei der Verkleinerung der Grobkalkplatten nehmen außerdem die Areale rascher ab als ihre Umfänge. Verringert sich etwa eine rechteckige Grobkalkplatte um die Hälfte, die nunmehr eine mehr oder weniger quadratische Form habe, so wird der Umfang nur um ein Drittel kleiner (h). Das heißt, der entwässernde Saum nimmt an Länge verhältnismäßig zu, so daß das geminderte obere Grundwasser nun auch noch über eine größere Quelllinie verteilt, seine umgestaltende Kraft also verzettelt wird. Statt in kräftigen Quellen tritt das Wasser diffus am Gehänge aus, statt rasch abzufließen, durchtränkt es den Boden. Die Erosion läßt nach, dafür bilden sich unter dem Einfluß von Erdfließvorgängen sumpfige Gehängenischen aus.

Indem nun die Gehägebewegungen die Grobkalkplatten weiter verkleinern, vermindert sich der Abfluß weiter in der gleichen Richtung, und zwar so lange, bis sich die Niederschläge auf eine so große Entwässerungslinie verteilen, daß sie sowohl für die Erosion wie für die Gehägebewegungen bedeutungslos werden. So werden die Tafelberge für die zerstörenden Kräfte, die mittels Wasser arbeiten, mehr oder weniger unangreifbar, und da diese unter dem gegenwärtigen Klima bei weitem vorherrschen, so treten sie in das Stadium der Restform ein.

Das Nebeneinander noch quell- und bäche-reicher Tafelberge und solcher, die wasserlos sind wie der *Chemin des Dames*, zeigt, daß die Eozänlandschaft als Ganzes dieses späte Stadium noch nicht erreicht hat. Dafür, daß sie sich ihm nähert, könnten verschiedene Anzeichen sprechen: Die Siedlungen liegen meist am Fuße der Hänge; ihre Bewohner fürchten also größere Bodenbewegungen nicht. Ebenso wenig fürchten sie katastrophenartige Wildwässer, denn sie haben sich nicht minder auf den Sohlen der Schluchten niedergelassen. Oben an den Rändern der Tafelberge aber liegen zahlreiche prähistorische Stationen, die zum Teil bis ins Paläolithikum zurückgehen, und eine große Anzahl keltischer Niederlassungen, die zweifellos an den Rändern angelegt und nicht etwa durch Abbruch der Grobkalk-

platten an sie herangerückt sind. Das alles deutet darauf hin, daß die Landschaft in den letzten Jahrtausenden keine erhebliche Umgestaltung mehr erfahren hat. Demgegenüber muß freilich betont werden, daß mit der Eozänstufe das Gebiet der großen nordfranzösischen Wälder beginnt, die Forsten von Concy, Compiègne usw. Auch die Gegend von Laon ist im ganzen walddreich. Der Wald stellt aber, indem er die Gehänge verfestigt und verzögernd in den Gang der Niederschläge eingreift, einen die Abtragung hemmenden Faktor dar. Darum beschränken wir uns darauf, nur in den aufs äußerste verkleinerten quell- und bachlosen Tafelbergen echte Restformen zu erblicken.

Der zweite anzuführende Fall betrifft die Abtragung an Inselbergen. Er führt uns in das brasilische Bergland, zu den erwähnten glockenförmigen steilen Granitbergen, deren schönste Beispiele an der Bucht von Rio de Janeiro zu beobachten sind<sup>5)</sup>. Hier erhebt sich eine Anzahl einzeln schroff aufsteigender Kegel aus einer jungen Strandebene empor. Die Berge sind größtenteils kahl und haben einen schalenartigen Bau, derart, daß um einen Kern sich eine Anzahl ziemlich mächtiger periklinal angeordneter Schalen oder Mäntel legt, die mehr oder weniger abgetragen sind und eben dadurch den Aufbau enthüllen (i). Nur die Gipfel und die Köpfe der halb abgetragenen Mäntel sind verwittert und mit tropischem Regenwalde bedeckt. Wo die Verwitterungsflächen an die Felswände stoßen, ergießen sich über die letzteren mehr oder weniger ausgedehnte Ströme herabgeflossenen Lehmes.

Alle bewaldeten Flächen sind stark mit Wasser durchtränkt, das an den Rändern überall austritt und die kahlen Felshänge in zahllosen seichten Rinnen furcht, ohne zur Ausbildung eigentlicher Erosionstäler zu gelangen (i, links). Beträchtlich ist dagegen die umgestaltende Wirkung des Bodenwassers, das überall, wo eine Bodenneigung vorhanden ist, Erdfließbewegungen auslöst. Zunächst geht dies an der Peripherie der Gipfel-flächen vor sich, was eine stärkere Abtragung des Mantels gegenüber dem Kern zur Folge hat. Ist dieser Zustand einmal eingetreten, so wird der Mantel weiterhin rascher erniedrigt, weil das Bodenwasser seiner Verwitterungsfläche nicht nur durch die Niederschläge, sondern auch durch das von den Gipfel-flächen in den Rillen herab-rinnende Wasser gespeist wird und daher der Eintritt des Erdfließens eine Beschleunigung erfährt (k).

Die Arealabnahme der Gipfel-fläche zieht aber dieselben Folgen für die Entwässerung nach sich, wie es bei den Zeugenbergen der Fall war. Die Niederschläge verteilen sich auf einen verhältnismäßig längeren entwässernden Saum und verlieren an Energie. Dies wiederholt sich mit der Abschälung des nächsten Mantels und so fort

<sup>5)</sup> Vgl. Brandt, *Die tallosen Berge an der Bucht von Rio de Janeiro*, Mitt. der Geogr. Ges. zu Hamburg Bd. XXX.

(l, m). Also auch hier vermindern sich mit fortschreitender Abtragung die Grundlagen für die Entwässerung und damit für die Abtragung selbst.

Für jedes einzelne Stadium dieses Vorganges finden sich Beispiele. Man sieht breite Rücken mit tiefgründig verwitterten Gipfeln, dichtem Wald und kräftigen Wasserrinnen, stark abgetragene Kegel, deren Wände zwar von Rillen gefurcht sind, aber nicht mehr berieselt werden, und deren Gipfelvegetation nur spärlich ist, und endlich weitgehend abgeschälte, kahle und wasserlose Steilkegel, denen die herrschenden zerstörenden Kräfte ersichtlich wenig anhaben können.

Wir beobachten also hier einen Vorgang, der dem der Abtragung der Eozäntafel vollkommen analog ist. In beiden Fällen läuft die Abtragung auf die Bildung von verhältnismäßigen Dauerformen, Restformen, hinaus.

Ihre Entstehung beruht auf der Verminderung der Angriffsfläche gegenüber der zerstörenden Wirkung der Niederschläge, also auf Verhältnissen, die überall auf der Erde unter humidem Klima gegeben sind.

Darum schließen wir aus den beiden im übrigen sehr verschiedenartigen Beispielen auf eine ganz allgemein verbreitete Möglichkeit der Restformenbildung.

Daß die Herausbildung der Restformen in beiden Fällen so rein wie in einem Experiment beobachtet werden kann und daß diese selbst von so hoher landschaftlicher Bedeutung sind, liegt einerseits an dem günstigen geologischen Aufbau, zum andern daran, daß die umgestaltende Kraft der Niederschläge sowohl unter dem milden Seeklima Westeuropas wie unter den feuchten Tropen das vorherrschende zerstörende Agens ist.

Da Aufbau und die Agentien der Abtragung in hohem Grade veränderliche Faktoren sind, so folgt, daß, wie hier eine regionale Begünstigung des Vorganges stattfindet, er anderwärts eine Hemmung erfahren kann. So könnte beispielsweise eine starke Mitbeteiligung der Sonnenbestrahlung und des Frostes die vom Wasser nicht mehr angreifbaren Formen weiter bearbeiten und landschaftlich minder auffällige Restformen schaffen.

Übergänge könnten beide Extreme verbinden und so eine fortlaufende Brücke von den imponierenden Formen, wie wir sie beobachteten, zu den sanften Bodenwellen der Fastebenen schlagen.

Die verschiedenen möglichen Kombinationen von Gestein, Aufbau und Klima würden den Schlüssel zu der ungleichen Verteilung der Restformen nach ihrem Grade der Abtragung und nach ihrer Dichte liefern und erklären können, warum großartige Inselberglandschaften nur dieser oder jener Region eigen sind und warum die Zeugenberge bald vereinsamt, bald locker und spärlich verstreut, bald in enger Benachbarung auftreten.

## Über einige Aluminiumlegierungen<sup>1)</sup>.

1. Von der Institution of Mechanical Engineers in England war vor über dreißig Jahren das Alloys Research Committee ins Leben gerufen worden, als die speziellen, der Metallforschung dienenden Organisationen des Institute of Metals und des Iron and Steel Institute noch nicht existierten, und es hat sich neben diesen bis jetzt halten können. Im Alloys Research Committee wurden von den allerersten Fachleuten im größten Umfange systematische Untersuchungen über dringend erscheinende Fragen der Metallforschung ausgeführt und in zwanglosen Zwischenräumen veröffentlicht. Der vorliegende, eine Arbeit von über zehn Jahren umfassende Bericht beansprucht ein besonderes Interesse, weil er systematische Untersuchungen von einem Umfange und von einer Gründlichkeit umfaßt, wie sie in der Metallforschung ganz einzig dastehen. Diesen Charakter verdanken die Untersuchungen in erster Linie der allgemeinen Unterstützung und den außerordentlich reichlichen Geldmitteln, die hauptsächlich von der englischen Regierung zu ihrer Förderung vor und während des Krieges zur Verfügung gestellt wurden. Das Thema dieser Untersuchungen ist für die Entwicklungsrichtung der heutigen Metalltechnik, die dem Aluminium und seinen Legierungen eine so große Aufmerksamkeit schenkt, durchaus charakteristisch.

Die Bedeutung dieses Berichtes für die Deutsche Metallkunde und Metalltechnik liegt vor allen Dingen in seinem systematischen Charakter, der zum ersten Mal einen zuverlässigen und, wie man annehmen kann, erschöpfenden Überblick über größere Gebiete der Aluminiumlegierungen gestattet. Die deutsche Literatur über die Aluminiumlegierungen ist außerordentlich lückenhaft, der allergrößte Teil der Erfahrungen ruht in den Geheimarchiven der Privatindustrie, über viele Legierungen weiß man nur aus Patentschriften oder aus Werbeschriften; deshalb können viele Literaturangaben nicht als zuverlässig betrachtet werden, und ohne eigene zeitraubende und kostspielige Erfahrungen vermag der Einzelne nicht, sich auch nur einen beschränkten Überblick über die Aluminiumlegierungen zu verschaffen. Es muß hier betont werden, daß die Legierungskunst, besonders auf den neuen Gebieten wie das der Aluminiumlegierungen, eine rein empirische Kunst ist, der vorläufig auch der wissenschaftliche Charakter einer systematischen Erfahrung kaum zukommt. Rationelle Forschungswege auf der Suche nach neuen Legierungen gibt es kaum; man ist auf die ziemlich blinde Ausführung von Hunderten von Versuchen angewiesen, aus denen man noch keine sicheren allgemeinen Gesichtspunkte zu gewinnen versteht und deren Kenntnis in unmittelbarer Tatsächlichkeit für den Fachmann deshalb schlechthin unersetzlich ist.

Unter diesen Umständen hat die Veröffentlichung einer großen Reihe von systematisch gesammelten Erfahrungen, die in ihrer Gründlichkeit und Objektivität völlig zuverlässig sind und in manchen Fragen bereits zur Aufstellung von ersten Gesetzmäßigkeiten hinüberleiten, wie sie in dem englischen Bericht vorliegt, einen ganz besonderen Wert. Im Interesse der deutschen Wissenschaft und Technik ist es daher dringend zu wünschen, daß es gelingen wird, die weitere Metall- und Legierungsforschung, auch für unmittelbare technische Zwecke, in ähnlicher Weise, wie es in diesem Falle zum Teil in England geschehen ist, zu systematischer nationaler Arbeit zusammenzufassen.

<sup>1)</sup> Der elfte Bericht an das Alloys Research Committee von W. Rosenhain, S. Archbutt und D. Hanson.



Anfänge hierzu sind ja mit der Gründung der Kaiser-Wilhelm-Institute für Eisen- und für Metallforschung bereits gemacht worden. — Es sei jedoch erwähnt, daß in England bereits wieder Klagen laut werden über steigende Zurückhaltung der Privatindustrie und jetzt nach dem Kriege wieder auftretende Neigung zur Geheimhaltung sämtlicher eigenen Erfahrungen.

Es kann im folgenden nicht ein zusammenhängender Bericht über die Arbeit von *Rosenhain*, *Archbutt* und *Hanson* gegeben werden. Es sollen nur in isem Zusammenhang einige in dieser Arbeit untersuchte Fragen besprochen werden, die ein besonders großes wissenschaftliches oder technisches Interesse beanspruchen.

## 2. Die Warmfestigkeit der Aluminiumlegierungen.

Eines der Schmerzenskinder des Verbrennungsmotors ist der unter dem Stöße der Zündungsexplosionen sich hin und her bewegende und die Bewegung auf die rotierenden Teile übertragende Zylinderkolben. Dieser soll bei genügender Festigkeit ein möglichst geringes Gewicht haben, auch wenn er nicht für Flugzeugmotore bestimmt ist. Denn bei der großen Hubzahl eines Verbrennungsmotors führt das Hin- und Herstoßen der toten Masse eines Kolbens zu erheblichen Energieverlusten und starken Erschütterungen des ganzen Mechanismus. Ferner muß das Material des Kolbens ein gutes Wärmeleitvermögen haben, um eine übermäßige Erhitzung der mit den Explosionsgasen in Berührung stehenden Stirnteile zu vermeiden. Drittens muß die Festigkeit bei den in Frage kommenden Temperaturen noch ausreichend sein, es kommt also auf die Temperaturabhängigkeit der Festigkeitseigenschaften an. Ferner ist zu berücksichtigen, daß das Herstellungsverfahren und die Form des Kolbens die Zweckmäßigkeit ergibt, gegossene Kolben zu verwenden. Die verlangten Festigkeitseigenschaften muß das Material des Kolbens also nicht im verarbeiteten, gereckten (zum Beispiel gepreßten, gewalzten u. a. m.) Zustande, sondern bereits im Guß besitzen. Das bedeutet eine wesentliche Erschwerung des Problems, weil gegossene Metalle und Legierungen vielfach sehr spröde sind.

Den meisten dieser Forderungen entsprechen nun Aluminium und seine Legierungen, die vorwiegend aus Al. bestehen, in ausgezeichneter Weise. Die Dichte des Aluminiums ist recht gering (ca. 2,7), das Wärmeleitvermögen sehr gut, etwa vier- bis fünfmal so gut wie das des Eisens und der gewöhnlichen Stähle. Die technischen Eigenschaften — die Härte, die Bearbeitbarkeit mit stoffabhebenden Werkzeugen, die Geschmeidigkeit, besonders bei vielen seiner Legierungen, sind zufriedenstellend. Für die Kolben der Verbrennungsmotore und für alle anderen Konstruktionsteile, bei denen ähnliche Materialeigenschaften verlangt werden, sind die Aluminiumlegierungen deshalb das gegebene Material.

*Rosenhain*, *Archbutt* und *Hanson* haben nun unter Berücksichtigung aller dieser Gesichtspunkte und in erster Linie der „Warmfestigkeit“ der Materialien eine systematische Untersuchung der Aluminiumlegierungen vorgenommen. Sie sind dabei von den Zink-Aluminium-Legierungen ausgegangen, da bereits bekannt war, daß durch Zusatz von Zn die Festigkeit des Al. erheblich steigt. Es wurde jedoch gefunden, daß die Festigkeit dieser Legierungen mit steigender Temperatur schnell abnimmt, sie also nur eine geringe Warmfestigkeit besitzen. Auch ein Zusatz von Kupfer, wie er noch jetzt in Deutschland üblich ist, ändert daran nicht viel. In Tabelle 1 sind in Reihe 1 die Zerreißeigenschaften einer derartigen Legierung bei verschiedenen Temperaturen angeführt. Man sieht, wie

Tabelle 1.

|    | Zusammensetzung                             | Zerreißeigenschaften<br>in kg/mm <sup>2</sup> bei |          |       |
|----|---|---|----------|-------|
|    |   | gew. T.   | 250°     | 350°  |
| 1. | 13% Zn, 2,5–3% Cu,<br>Rest Al. ....         | 21,6  | 6,5      | 2,4   |
| 2. | 8% Cu, Rest Al. ....                        | ca. 12–18   | 11,2     | 5,4   |
| 3. | 12% Cu, Rest Al. ....                       | ca. 18–20   | 11,2     | 7,36  |
| 4. | 14% Cu, 1% Mn, Rest<br>Al. ....             | 14,4  | 16       | 10,2  |
| 5. | 4% Cu, 2% Ni, 1,5%<br>Mg, Rest Al. ....     | 21  | 17,6     | 8     |
| 6. | 1,8% Cu, 1,2% Ni,<br>1,6% Mg, Rest Al. .... | 13,3–15,4   | —        | —     |
| 7. | 11–14% Si, Rest Al. ....                    | 20  | ca. 13,0 | ca. 6 |
| 8. | 10% Zn, 2% Cu, Rest<br>Al. ....             | 15  | —        | —     |

gering sie bei höheren Temperaturen sind. Deshalb wurden die zinkhaltigen Legierungen ganz verlassen und die Aluminium-Kupfer-Legierungen untersucht. Die Eigenschaften zweier derartiger Legierungen finden sich in Reihe 2 und 3 der Tabelle. Die Warmfestigkeit dieser Legierungen ist recht erheblich besser als die der Zinklegierungen.

Es wurden nun systematische Versuche gemacht, die Warmfestigkeit der Legierungen durch weitere Zusätze zu erhöhen, und es wurde gefunden, daß der Zusatz von Mn in einer (optimalen) Menge von 1 % die Temperaturabhängigkeit der Festigkeit in der Weise beeinflusst, daß sie von gewöhnlicher Temperatur bis ca. 250° etwas ansteigt und erst dann abfällt (siehe Reihe 4 Tabelle 1). Aus verschiedenen Gründen wurden jedoch die manganhaltigen Legierungen wieder aufgegeben, und es wurde nach vielen Versuchen gefunden, daß ein Zusatz von Nickel von günstigem Einfluß ist, besonders, wenn man außerdem noch Magnesium zusetzt. Es stellte sich heraus, daß der Kupfergehalt wesentlich herabgesetzt werden kann, und es wurde schließlich eine als „Y“ bezeichnete Legierung ausgearbeitet, deren Zusammensetzung und Eigenschaften in Reihe 5 Tabelle 1 angegeben sind. Diese Legierung zeichnet sich durch ziemlich große Geschmeidigkeit aus und hat auch sonst gute Eigenschaften. Nach in England ausgeführten Messungen werden an den heißesten Stellen eines Zylinderkolbens Temperaturen von etwa 250° erreicht, so daß für diesen die Festigkeitswerte bei dieser Temperatur in erster Linie von Bedeutung sind. Zum Vergleich mit der „Y“-Legierung sind in der sechsten Reihe der Tabelle die Zusammensetzung und die Festigkeit des bekannten Magnaliums und in der siebenten Reihe des neuerdings in Deutschland empfohlenen „Silumin“ nach Angaben von *Czochozalski* angeführt. Der Wert dieses Materials soll in erster Linie in einer erheblichen Geschmeidigkeit liegen. In der letzten Reihe findet sich die Zerreißeigenschaften der heute in Deutschland vielfach für Zylinderkolben verwandten Zn-Cu-Al-Legierung.

Wenn man die Festigkeit der Legierung „Y“ mit der in der 1. Reihe der Tabelle angeführten vergleicht, die wohl etwas besser ist als die praktisch benutzte Legierung der letzten Reihe, so sieht man, daß die Einführung der „Y“-Legierung tatsächlich einen erheblichen praktischen Fortschritt bei der Herstellung von Zylinderkolben bedeuten kann. Die Wärmeleitfähigkeit dieser Legierung ist beinahe viermal so groß

wie die des Gußeisens und ihre Dichte nicht viel größer als die des Aluminiums.

3. *Aufreißen von Aluminiumlegierungen.* In dieser Zeitschrift war vor kurzem<sup>1)</sup> über das Aufreißen von kaltgereckten Messinggegenständen berichtet worden, wobei das Vorhandensein starker innerer Spannungen, wie sie im Gefolge der Kaltreckung auftreten, eine Voraussetzung für das Aufreißen ist. *Rosenhain*, *Archbutt* und *Hanson* berichten über ähnliche Erscheinungen bei gereckten Aluminiumlegierungen, die jedoch unter wesentlich anderen Bedingungen auftreten. Unter dauernder Zugbelastung, die unterhalb

4. *Die Vergütung der Aluminiumlegierungen.* Die charakteristische Eigentümlichkeit des Duralumins, sich „vergüten“ zu lassen, das heißt, nach einem Abschrecken von einer höheren Temperatur (400°—500°), bei gewöhnlicher Temperatur eine allmähliche Verbesserung der technischen Eigenschaften bis um 100 % den ursprünglichen Eigenschaftswerten sowie den Werten gegenüber, die das von hoher Temperatur langsam abgekühlte Duralumin zeigt, findet sich in geringerem Maße bei den meisten Aluminiumlegierungen wieder. In der folgenden Tabelle 2 sind zwei derartige Legierungen angeführt.

Tabelle 2.

| Bezeichnung | Zusammensetzung<br>(Rest Al) | Festigkeit<br>nach der<br>Herstellung | Dauer des<br>Lagers beigew.<br>Temperatur | Festigkeit<br>nach dem Lagern | Herstellungs-<br>weise |
|-------------|------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------|------------------------|
| L 5         | ca. 13% Zn, 3% Cu            | 17,5 kg/mm <sup>2</sup>               | 10 Monate                                 | 22,8 kg/mm <sup>2</sup>       | Kokillenguß            |
| A           | 20% Zn, 3% Cu                | 43,5 „                                | 4 Jahre                                   | 53 „                          | Heißgewalztes Blech    |

der Elastizitätsgrenze liegt, reißen sie zuweilen auf, und zwar verläuft die Reißfläche genau wie bei Messing, stets längs der Kristallgrenzen. Die mikroskopische Untersuchung hat gezeigt, daß das Aufreißen nur dann auftritt, wenn diese Begrenzungsflächen verhältnismäßig glatt, also nicht gezackt sind, und wenn die durch das Recken hervorgerufene Längung der Kristallite geschwunden ist. Beides wird nach zuweit getriebener Rekristallisation durch Erhitzung beobachtet. Während also bei Messing die Erhitzung ein sicheres Mittel zur Vermeidung des Aufreißens bedeutet, wird bei diesen Legierungen das Aufreißen gerade erst durch übermäßiges Erhitzen hervorgerufen. In dieser Weise wurde das Aufreißen bei folgenden Legierungen beobachtet:

| Bezeichnung | Zusammensetzung  |
|-------------|--|
| A           | 3% Cu, 20% Zn, Rest Al   |
| E           | 2,5% Cu, 20% Zn, 0,5% Mg, 0,5% Mn<br>< 0,2% Fe, < 0,2% Si, Rest Al |
| F           | wie E, jedoch mit 0,75% Si   |
| G           | 2,5% Cu, 18% Zn, 0,35% Mg, 0,35% Mn<br>0,8% Si, Rest Al            |

Alle Maßnahmen, die die Rekristallisation unterbinden, setzen zugleich die Gefahr des Aufreißens herab. Wenn die vorangegangene Erhitzungstemperatur zum Beispiel statt 400° nur 200—250° betrug, so trat das Aufreißen nicht mehr auf. Der überaus erwünschte Vergütungsvorgang (siehe Abschnitt 4) macht jedoch eine Erhitzung der Legierungen auf 400—500° notwendig. Ferner sind alle Zusätze, die die Rekristallisation verlangsamen, von günstigem Einfluß. In erster Linie wurde das bei Zusetzen von Mangan gefunden. Wenn hierdurch, wie bei den Legierungen E, F und G, die Neigung zum Aufreißen auch wesentlich herabgesetzt wurde, so konnte sie doch nicht mit Sicherheit vollständig beseitigt werden.

In keinem Falle wurde, auch unter erschwerten Bedingungen, ein Aufreißen bei der Legierung „Y“ beobachtet.

Die Ursachen des bei den Aluminiumlegierungen beobachteten Aufreißens sind noch wenig geklärt. Auf innere Spannungen, wie beim Messing, kann man sie nicht zurückführen, da diese als durch das vorangegangene Erhitzen beseitigt gelten müssen. Vielleicht übernimmt die äußere Zugbelastung in diesem Fall die Rolle der inneren Spannungen. Vermutlich werden ferner äußere korrodierende Einflüsse auch von Bedeutung sein.

Man sieht, daß ein Vergütungseffekt auch ohne vorhergegangenes ausgesprochenes Abschrecken eintritt. Man kann also allgemeiner sagen: viele Legierungen des Aluminiums verändern ihre Eigenschaften beim Liegen bei gewöhnlicher Temperatur, wenn sie bei ihrer Herstellung nicht sehr langsam abgekühlt worden sind. Die Legierungen befinden sich also nach ihrer Herstellung nicht in stabilem Gleichgewicht und streben diesem allmählich zu. Als Ursache dieser Änderungen kann zurzeit mit ziemlicher Sicherheit die Ausscheidung von neuen Phasen in einem hohen Dispersitätsgrade oder damit verwandte Vorgänge betrachtet werden, besonders, seitdem es gelungen ist, auch im Duralumin derartige Vorgänge nachzuweisen (darüber wurde in dieser Zeitschrift kürzlich in einer Notiz berichtet). Nach der Zusammensetzung der Legierungen müssen diese Vorgänge als möglich und sogar sehr wahrscheinlich bezeichnet werden.

Die in den Aluminiumlegierungen beobachteten Änderungen führen bei gewöhnlicher Temperatur ausnahmslos zur Verbesserung der technischen Eigenschaften, zu einer „Vergütung“. Trotzdem dieser veredelte Zustand irreversibel angestrebt wird, ist er nicht der absolut beständige, wie das insbesondere die Erfahrungen beim Duralumin zeigen, bei dem die Vergütung durch eine geeignete Erhitzung, bei welcher die Phasengleichgewichte noch nicht erheblich verschoben werden, bei der aber die in der Legierung sich abspielenden Vorgänge sehr beschleunigt werden, wieder aufgehoben wird. Eine derartig behandelte Legierung kann dann beliebig lange bei gewöhnlicher Temperatur liegen, ohne wieder eine Verbesserung oder überhaupt Änderung der technischen Eigenschaften zu zeigen, und muß daher als in einem völligen Gleichgewicht befindlich betrachtet werden.

Der bei gewöhnlicher Temperatur freiwillig verlaufende „Vergütungsprozeß“ birgt also die Gefahr in sich, daß in seinen späteren Stadien, bei der Annäherung an den endgültigen Gleichgewichtszustand, einer freiwilligen Verbesserung der Eigenschaften eine langsame, freiwillig verlaufende Verschlechterung folgen kann. Während die Verbesserung der technischen Eigenschaften auf der Ausscheidung einer Phase in hochdispenser Form zu beruhen scheint, scheint die spätere Verschlechterung durch den langsamen Rückgang ihrer Dispersität hervorgerufen zu sein. Ob dieser zweite Vorgang sich in einer gefährdenden Weise entwickeln kann, hängt von der Natur der Legierungen und von den Bedingungen ab. Wenn er bei gewöhnlicher Temperatur auch erst in Zeiträumen,

<sup>1)</sup> Heft 50 d. J.



die aus unabhängigen Gründen (sonstige Abnutzung der Einrichtungen usw.) außerhalb der technisch in Betracht kommenden liegen, als möglich erwartet werden mag, so ist das ganz anders, wenn die Legierung höheren Temperaturen ausgesetzt wird. Nach den Untersuchungen von *Fraenkel* (Zeitschrift für Metallkunde 12, 225, 427 [1920]) ist auch bekannt, daß bei gewissen höheren Temperaturen ( $100^{\circ}$ — $300^{\circ}$  je nach der Zusammensetzung des Duralumins) erst eine Veredelung eintritt, bei längerer Erhitzungsdauer aber wieder zurückgeht. Sobald eine vergütete Legierung also während des Betriebes auch nur wenig erhöhten Temperaturen ausgesetzt wird, ist die Gefahr des Verlustes der Vergütung unmittelbar gegeben.

Während man es bei den früher benutzten Legierungen meistens mit im Gleichgewicht befindlichen Systemen oder mit solchen zu tun hatte, die bei gewöhnlicher Temperatur keine Änderungen erlitten, finden bei den heute in immer steigendem Maße verwandten Aluminium- und allgemeinen Leichtmetalllegierungen bei gewöhnlicher Temperatur langsam Zustandsänderungen statt; die Legierungen leben, sie verändern sich unter unseren Händen. Es ist fraglos, daß das ein die Betriebssicherheit herabsetzender Faktor ist, und wenn man ihn mit in Kauf nimmt, so geschieht das im Falle der ersteren, den technisch wertvollen Eigenschaften des Aluminiums zugute, als welche in erster Linie das geringe spezifische Gewicht und das hohe Elektrizitäts- und Wärmeleitvermögen zu nennen sind.

5. *Ermüdung.* Während die Herstellung und Untersuchung der Gußlegierungen in erster Linie unter dem Gesichtspunkt ihrer technischen Eigenschaften bei höheren Temperaturen erfolgte, mußte bei den mechanisch verarbeiteten (gerekten) Legierungen außer dem Verarbeitungsprozeß eine erhöhte Aufmerksamkeit dem Verhalten (Aufreißen) unter dauernder Belastung (siehe Abschnitt 3) zugewandt werden. Es ist oben erwähnt worden, daß die Gefahr des Aufreißen bei den Aluminiumlegierungen an eine vorübergehende mechanische Bearbeitung, mit einer nachfolgenden Erhitzung geknüpft ist. Eine Reihe sonst hochwertiger, vergütungsfähiger und auch ohne große Schwierigkeiten verarbeitungsfähiger Legierungen mußte aus diesem Grunde aufgegeben werden. Es ist im angeführten Abschnitt bereits erwähnt worden, daß bei der Legierung „Y“ diese Gefahr nicht vorliegt.

Ferner wurde das Verhalten der verarbeiteten Le-

Tabelle 3.

| Bezeichnung    | Zusammensetzung<br>(Rest Al)                 | Ermüdungsgrenze<br>in kg/mm <sup>2</sup> |          |
|----------------|--|--|----------|
|                |  | bei 20°                                  | bei 150° |
| A              | 30% Cu, 20% Zn                               | ± 13,9                                   | ± 7,2    |
| E              | 2,5% Cu, 20% Zn, 0,5% Mg,<br>0,5% Mn         | ± 15,5                                   | ± 8,2    |
| J              | 40% Cu, 2% Ni, 1,5% Mg                       | ± 16,3                                   | ± 13,4   |
| J <sub>1</sub> | 40% Cu, 2% Ni, 1,5% Mg,<br>0,5% Mn           | ± 16,5                                   | ± 13,1   |
| J <sub>2</sub> | 40% Cu, 2% Ni, 1,5% Mg,<br>0,5% Mn, 0,75% Si | ± 14,4                                   | ± 10,4   |
| D <sub>1</sub> | Duralumin mit 3% Cu                          | ± 16,8                                   | ± 11,5   |
| D <sub>2</sub> | " " 5% Cu                                    | ± 16,8                                   | ± 12,6   |
| D <sub>3</sub> | " " 6% Cu                                    | ± 16,3                                   | ± 8,0    |
| M              | 2% Cu, 1,5% Ni, 1% Mg<br>(Magnalium)         | ± 14,4                                   | ± 11,2   |
| R              | 6,1% Mg                                      | ± 10,4                                   | ± 8,8    |

gierungen bei wechselnder Beanspruchung (Ermüdung) untersucht. In Tabelle 3 sind die (extrapolierten) Belastungsgrenzen angegeben, bei denen diese Legierungen auch nach einer unendlichen Anzahl von wechselnden Belastungen sich gerade noch halten (Ermüdungsgrenze). Alle Angaben beziehen sich auf Walzstangen von ca. 21 mm Durchmesser.

Masing.

## Deutsche Meteorologische Gesellschaft. (Berliner Zweigverein.)

In der Sitzung am 10. Oktober sprach Herr Prof. *Kurt Wegener* über den Segelflug, ein Thema, das nach den Rekordleistungen der kurz vorher beendeten Rhönsegelflugwettbewerbe im Vordergrund des Interesses stand. Der Vortragende erörterte zunächst einige Fragen technischer Natur, z. B. das Verhältnis der Spannweite zur Oberfläche, die Beziehung zwischen Flächenbelastung und Geschwindigkeit, die Bedeutung der Sinkgeschwindigkeit des Flugzeugs, und erläuterte dann die Unterschiede zwischen statischem und dynamischem Flug. Statischer Flug ist bisher nur an Berghängen in dem nach aufwärts gerichteten Luftstrom ausgeübt worden, doch ist er auch an Deichrändern, Meeresküsten, Wäldern usw. möglich, da hier die Verhältnisse ähnlich liegen. Außerdem ist genügender Auftrieb aber auch im Luftaustausch zwischen oberen und unteren Schichten während des Tages, z. B. unter Haufenwolken, vorhanden. Die Ausnutzung dieser Tatsache soll nach Meinung des Vortragenden auch Segelflüge über weitere Strecken ermöglichen. Das Flugzeug wäre dabei als Drachen zu starten, um so in genügender Höhe in die Region der thermischen Strömungen hineinzukommen. Der häufige Hinweis während des Vortrags auf den Segelflug der Vögel lag nahe. Es wurde dargelegt, wie diese die aufwärts gerichteten Strömungen, sowohl dynamischer als auch thermischer Natur, und auch die Geschwindigkeitssprünge zwischen den verschiedenen Luftschichten ausnutzen. Da dies inzwischen ausführlich in dem Heft 40 dieser Zeitschrift in einem Aufsatz von *C. Runge*, *Über den Segelflug*, behandelt ist, kann sich Referent mit diesem Hinweis begnügen.

Die Sitzung vom 7. November brachte einen Vortrag von Herrn Dr. *Esau* über *Atmosphärische Einflüsse auf die drahtlose Telegraphie*.

Nachdem der Einfluß der Atmosphäre bekannt geworden war, wurden Untersuchungen über den Sitz dieses Einflusses angestellt. Sie fielen sowohl für Sender als auch für Empfangsstelle negativ aus. In dem nur übrigbleibenden Zwischenmedium, der Luft, legte man aber zunächst den Sitz der Störung zu weit weg; erst neuere Untersuchungen haben ergeben, daß sich Störungen schon in 50—60 km Entfernung vom Sender bemerkbar machen können. Diese Einflüsse äußern sich zunächst in Form von *Intensitätsschwankungen*, d. h. in unregelmäßigen Änderungen der Lautstärke, die teils abschwächend, teils aber auch verstärkend auftreten können. Der Einfluß der Lichtabblendung konnte bei Sonnenfinsternissen studiert werden. Es zeigte sich beim Beginn der Verfinsterung eine Verstärkung, dagegen beim Aufhören der Finsternis ein plötzliches Abspringen der Intensität. Der Einfluß von Tag und Nacht wurde vor allem von *Marconi* mit gleicher Wirkung nachgewiesen, was namentlich für kurze Wellen gilt. Ein gut ausgewählter Ort für die Empfangsstation ist von sehr großer Bedeutung. Abends kann z. B. an einer Stelle eine bestimmte Welle nicht hörbar sein, während sie am Morgen gut hörbar ist. In nur 200 km davon können diese Verhältnisse gerade



umgekehrt liegen. Die Erklärung ist vielleicht in ganz bestimmter Schichtung der Atmosphäre zu suchen. Im allgemeinen ist der Einfluß der Atmosphäre in den Tropen wegen der größeren Regelmäßigkeit der atmosphärischen Vorgänge leichter zu studieren als in unseren Breiten. Die Meeresströmungen üben ebenfalls einen ganz bestimmten Einfluß aus. Über kalten Meeresströmungen sind gute Empfangsbedingungen gegeben, beim Zusammentreffen von kalten und warmen Strömungen ist der Empfang aber sehr schlecht. Über dem Golfstrom hört fast sämtliche Intensität auf. Die Beschaffenheit der höheren Luftschichten mit ihren Inversionen wird man zur Erklärung der Intensitätsschwankungen heranziehen müssen, doch muß vorerst noch viel Forschungsarbeit geleistet werden. Andererseits besteht für später die Möglichkeit, daß man aus den Intensitätsschwankungen rückwärts auf die atmosphärische Schichtung wird schließen können. Mit Hilfe von systematisch angeordneten Stationen wird so eine Erforschung der Atmosphäre möglich sein. Wesentlich sind dabei aber die starken Unterschiede zwischen der Luft über Land und über See. Tatsache ist z. B., daß 400 km über Land ebenso viel Energie verschlucken, wie der ganze Seeweg von Nordamerika nach Europa. Besonders beim Übergang von See zum Land erfährt die Lautstärke ganz charakteristische Veränderungen. Studien über die Änderung der Neigung des Vektors sind vielversprechend.

An zweiter Stelle unter den atmosphärischen Einflüssen steht die *Änderung der Richtung* der Welle. Sie scheint noch mehr beeinflußt zu sein als die Lautstärke. Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen sind aber noch nicht ganz einheitlich. Offenbar sind sie durch die Wahl der Wellenlänge und die Einflüsse der Apparaturen beeinträchtigt. Für unsere deutschen Stationen erscheint z. B. Rom als eine solche Station, die häufig aus ihrer Richtung herausgedreht ist. Ob der Grund hierfür in den Alpen oder in der Atmosphäre allein zu suchen ist, ist noch ungeklärt.

Die dritte große Klasse der schädigenden Einflüsse sind die *atmosphärischen Störungen*. Sie sind das störendste Moment und setzen überhaupt der Nachrichtenübermittlung ein Ziel. Ihre Beseitigung ist deshalb sehr wichtig. Praktisch verwertbare Ergebnisse hat man aber noch nicht erzielt. Die Störungen klassifiziert man neuerdings nach ihrer Entstehungsursache, nicht mehr wie früher nach Art der Geräusche. Die erste Art macht sich als ein fortwährendes Rauschen oder Rasseln im Telefon bemerkbar. Ihr Ursprung wird in der Sonnenstrahlung vermutet, denn sie beginnt mit großer Regelmäßigkeit bei Sonnenaufgang, steigt zunächst langsam, dann schneller mit wachsender Sonnenhöhe an und klingt bei Sonnenuntergang schnell ab. Nur die Tagesamplitude wechselt mit anderen meteorologischen Vorgängen, wie z. B. Bewölkung und Windstärke. Gerichtete Antennen sind Vorbedingung für die Untersuchung dieser Störungsart. Die zweite Störungsform äußert sich als plötzlich einsetzendes kurzes Knacken. Dies tritt erst mit Sonnenuntergang ein und nimmt dann nach Mitternacht hin zu. Der Ursprung wird in weiter Entfernung vermutet. Dieser Typ ist vollkommen ungerichtet. Die dritte Störung ist eine Verbindung der beiden ersten und wird bei anomaler Witterung, z. B. Gewittern in der Nähe des Empfängers verspürt. In Brasilien hat man neuerdings reiche Erfahrungen hierüber gesammelt. Von zwei Stationen aus gelang es, die Gewitter anzupeilen und so gewitterreiche Gebiete, sogenannte Gewitterherde, festzustellen. Die

Frage, ob ein und dieselbe Störung an zwei Punkten gleichzeitig erscheint, ist dahin zu beantworten, daß dies bei geringerer Entfernung wahrscheinlich ist, von mindestens 300 km ab treten aber Verschiedenheiten auf. Die Einflüsse der Luftdruckgebilde, der Bewölkung und der Luftfeuchtigkeit bedürfen noch der Klärung. Kn.

## Deutsche Ornithologische Gesellschaft.

Auf der Jahresversammlung vom 13. bis 15. Mai 1922 hielt Dr. *Stresemann* einen Vortrag über die zweite Freiburger Molukkenexpedition 1910 bis 1912, an der der Vortragende als Zoologe teilnahm. Ein Motordefekt des Schiffes zwang die Reisenden auf der Insel Bali einen dreimonatigen Aufenthalt zu nehmen, bevor Seran, die Hauptinsel der Molukken, angelaufen werden konnte. An der Hand vorzüglicher Lichtbilder schilderte Dr. *Stresemann* die Naturschönheiten der Molukken und ihre Bewohner. Die Ausbeute der Expedition an Vögeln, über 1200 Bälge, befindet sich zum größten Teil im Tringmuseum. Es wurden zahlreiche neue Vogelarten entdeckt, darunter ein langhaubiger weißer Star, *Leucopsar rothschildi* Stres., auf Bali und eine weißköpfige Drossel, *Turdus deningeri* Stres., in der Gebirgszone auf Seran in einer Höhe von 2800 m.

Herr *Heinroth* zeigte an 54 Lichtbildern die Jugendentwicklung des Zaunkönigs, der Nebelkrähe, des Schwarzspechtes, des Storchs und einiger Lappentaucher. Betreff des Storchs wies er darauf hin, daß das Klappern eine angeborene Triebhandlung ist, die schon die Jungen fast unmittelbar nach dem Auskriechen aus dem Ei ausüben.

Professor *Schalow* gab eine Übersicht über das Vorkommen der Zwergohreule, *Otus scops scops* L., in Deutschland. Die Zwergohreule ist eine mediterrane Art, die von hier aus teils als zufälliger Gast, teils als vereinzelter Brutvogel nach Deutschland vorgebracht ist. Im Westen Deutschlands liegen die Fundorte im Rhein- und Moseltal und auf Helgoland, im Osten in der Rominter Heide, in Ostpreußen und im Böhmer Wald. Zwischen dem Osten und Westen findet sich eine Kette vereinzelter Fundorte, die südlich des 51. Breitengrades über die Lausitz, Sachsen, Thüringen und Hessen führen, sowie eine zweite Linie von Fundorten im engeren und weiteren Donaugebiet. Außerdem befindet sich noch ein ganz isolierter Raum von Fundorten an der unteren Elbe zwischen Magdeburg und Hamburg. Hier beobachtete auch F. v. *Lucanus* im Park des Rittergutes Isterbies, Bez. Magdeburg, im August 1921 ein einzelnes Exemplar der Zwergohreule.

Baron *Loudon* sprach über die geographischen Besonderheiten der ostbaltischen Fauna, unter denen Barteule, Uralkauz, Sperlingskauz, Steinadler, Jagdfalk und Lammern besonders erwähnenswert sind. Der Vortragende hat 311 Vogelarten für Kur-, Liv- und Estland festgestellt.

Am 14. Mai nachmittags besichtigte die aus 160 Teilnehmern bestehende Versammlung eine von Prof. *Schalow* in den Räumen der Staatsbibliothek ausgestellte Sammlung von Handschriften hervorragender, besonders älterer Ornithologen.

Am 15. Mai fand ein Ausflug nach dem Truppenübungsplatz Döberitz bei Berlin statt, wo ein reiches Vogelleben herrschte. Eine Uferschwalbenkolonie in einem alten Schützengraben und ein balzender Birkhahn erregten besonders die Aufmerksamkeit der Teilnehmer.

Friedrich v. Lucanus, Berlin.



# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und der angewandten Naturwissenschaft

herausgegeben von  
**ARNOLD BERLINER**

Unter besonderer Mitwirkung von **H. BRAUS** in Würzburg

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 52. (Seite 1113—1136).

29. Dezember 1922.

Zehnter Jahrgang

## INHALT:

Georg Schweinfurths Forschungen über die Geschichte der Kulturpflanzen. Von **H. Harms**, Berlin-Dahlem. S. 1113.

Die Unregelmäßigkeit (Arrhythmie) des Herzschlages. Mit 7 Abbildungen. Von **C. J. Rothberger**, Wien. (Schluß). S. 1116.

Die physikalisch-chemische Theorie der Reizung. Von **E. Lasareff**, Moskau. (Mit 2 Abbildungen). S. 1123.

Die Stimulierung (Hebung) der Zellfunktionen und ihre landwirtschaftliche Bedeutung. Von **Methodi Popoff**, Sofia. (Mit 2 Abbildungen). S. 1128.

### Besprechungen:

Graetz, L., Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus. Bd. III Lief. 3, Bd. II Lief. 3, Bd. IV Lief. 3. Von **E. Regener**, Stuttgart. S. 1129. Riecke, Lehrbuch der Physik. 6. Auflage, II. Band. Von **Hartmut Kallmann**, Berlin. S. 1130.

Hegi, G., Illustrierte Flora von Mitteleuropa. Lief. 40—47. Von **E. Ulbrich**, Berlin. S. 1131.

Krauß, F., Die Nomographie oder Fluchtlinienkunst. Von **L. Bieberbach**, Berlin. S. 1132.

Friese, H., Die europäischen Bienen (Apidae). 1. Lieferung. Von **Max Dingler**, München. S. 1132. Hofbauer, Ludwig, Atmungs-Pathologie und Therapie. Von **Adolf Lazarus**, Berlin. S. 1132.

Biologische Gesellschaft zu Leipzig: Die Bedeutung der Gefäßwandzellen für die Zellneubildung. S. 1132.

Deutsche Ornithologische Gesellschaft: Die Abhängigkeit der Gefiederfärbung von klimatischen Einflüssen. Die Kaiserin Auguste-Viktoria-Fluß-Expedition in den Jahren 1912/13. S. 1133.

Geographische Mitteilungen: S. 1134—1136.

Die natürlichen Landschaften Mexikos. Die Jahrhundertfeier-Expedition der Indiana-Universität in das peruanische Amazonien. Zur Entschleierung des Innern von Brasilien. Die Wälder Formosas. Zur Erforschung des west-patagonischen Inlandeises. Forschungen im argentinischen Territorium Chubut. Die Ausgrabung des Pueblo Bonito. Volkszählung in Kolumbien. Neue amtliche Kartenwerke des Reichsamtes für Landesaufnahme.

Berichtigung S. 1136.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Vorzugspreis für die Bezieher der Naturwissenschaften

**Naturwissenschaftliche Monographien und Lehrbücher**

Herausgegeben von der Schriftleitung der „Naturwissenschaften“

Soeben erschien:

Vierter Band:

**Einführung in die Geophysik.** Von Professor Dr. A. Prey - Prag, Professor Dr. C. Mainka - Göttingen, Professor Dr. E. Tams - Hamburg. Mit 82 Textabbildungen. G. Z. 12; geb. G. Z. 13. Vorzugspreis für die Bezieher der „Naturwissenschaften“ G. Z. 10; geb. G. Z. 11.

Vor kurzem erschienen:

Dritter Band:

**Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre physikalischen Grundlagen.** Elementar dargestellt von Max Born. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 135 Textabbildungen. 1922. G. Z. 7,2; geb. G. Z. 10. Vorzugspreis für die Bezieher der „Naturwissenschaften“. G. Z. 6,4; geb. G. Z. 9.

Zweiter Band:

**Die binokularen Instrumente.** Nach Quellen und bis zum Ausgang von 1910 bearbeitet. Von Moritz von Rohr, Dr. phil., wissenschaftlichem Mitarbeiter der optischen Werkstätte von Carl Zeiß in Jena und a. o. Professor an der Universität Jena. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 136 Textabbildungen. 1920. G. Z. 8. Gebunden G. Z. 11. Vorzugspreis für die Bezieher der „Naturwissenschaften“ G. Z. 7,2; gebunden G. Z. 9,9. Erster Band: Vergriffen!

Die Grundzahlen (G. Z.) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.

### Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

**Redaktion der „Naturwissenschaften“**

Berlin W 9, Link-Str. 23-24.

Die Naturwissenschaften erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagsbuchhandlung zum Preise von M. 400.— für Januar 1923 bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt M. 125.—.

Zuschriften wegen des Anzeigenteils an die Anzeigen-Abteilung erbeten.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24.**

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Telegrammadresse: Springerbuch.

Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.

**Postscheck-Konten** für Bezug von Zeitschriften: Berlin Nr. 20120 Julius Springer, für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

## Voigt & Hochgesang Göttingen

**Fabrik f. Dünnschliffe,  
Kristallpräparate von  
eigenem, sowie von  
geliefertem Material.**

(260)

Schul- und Studiensammlungen von ersten Fachleuten der Wissenschaft zusammengestellt. Kataloge stehen kostenfrei zur Verfügung.

## Mikroskopische Präparate

Botanik, Zoologie, Diatomaceen, Typen- und Testplatten, Geologie, naturwissenschaftliche Literatur. Bitte zu verlangen: Liste über neue Schulsammlung mit Textheft und mit Angaben über weitere Kataloge usw.

**J. D. Möller, Wedel in Holstein.**

Gegründet 1864.

(294)

## Ältere Jahrgänge der Naturwissenschaften

**zu kaufen gesucht.** Angebote unter Nw. 293 an die Exped. dieser Zeitschr. erb.

## Wichtig für alle Bezieher der „Naturwissenschaften“

Infolge der fortschreitenden Geldentwertung und der Unübersehbarkeit der Entwicklung der wirtschaftlichen Verhältnisse kann der Bezugspreis für die „Naturwissenschaften“ für das Inland nur noch von Monat zu Monat bestimmt werden. Der Preis beträgt

**M. 400.— für Januar 1923**

zuzüglich M. 60.— Porto für direkte Zustellung unter Streifband, oder M. 1,50 Bestellgebühren bei Bestellung durch die Postämter. (Postbezug ist nur möglich innerhalb Deutschlands.)

**Auslandspreise für das I. Quartal 1923 bei portofreier Zustellung:** Argentinien 2,50 Pap.-Pes. — Belgien 14,50 Fr. — Brasilien 7,20 Milr. — Bulgarien 100 Leva. — Chile 7,20 Pes. — Dänemark 6,50 Kr. — Finnland 28 M. — Frankreich 14,50 Frs. — Griechenland 14,50 frz. Frs. — Großbritannien 6 sh. — Holland 3,60 Fl. — Italien 18 Lire. — Japan 6 sh. — Jugoslawien 40 Dinar. — Luxemburg 14,50 Fr. — Mexiko 1,50 amer. Doll. — Norwegen 7,20 Kr. — Portugal 22 Milr. — Rumänien 110 Lei. — Schweden 5 Kr. — Schweiz 7,20 Fr. — Spanien 7,20 Pes. — Tschechoslowakei 22 Kr. — Ver. Staaten 1,50 Doll.

### Bestellungs- und Zahlungsweise:

1. Bezieher, die die „Naturwissenschaften“ bisher durch den Buchhandel bezogen haben, wollen sich wegen des weiteren Bezugs und der Bezahlung an ihre Buchhandlung wenden.
2. Bezieher, die die „Naturwissenschaften“ bisher direkt vom Verlag unter Streifband zugesandt erhielten, werden gebeten, den Betrag von M. 400.— zuzüglich M. 60.— für Porto sofort auf Postscheckkonto Julius Springer, Berlin 20120, unter der Bezeichnung „Naturwissenschaften“ Januar 1923 einzuzahlen.
3. Bezieher, die die „Naturwissenschaften“ bisher direkt beim Verlag bestellten und von diesem durch das Postzeitungsamt überwiesen erhielten, wollen den Bezugspreis für Januar 1923 M. 400.— zuzüglich M. 1,50 für Bestellgebühren umgehend unter der Bezeichnung „Naturwissenschaften“ Januar 1923 auf Postscheckkonto Julius Springer, Berlin 20120 einzahlen.
4. Bezieher, die die „Naturwissenschaften“ bisher auf ihrem Postamt bestellten, tun gut, die Bestellung sofort bei ihrem Postamt bzw. Briefträger zu erneuern, damit keine Unterbrechung in der Lieferung eintritt. Die Zahlung für das Abonnement ist bei dieser Bezugsart an das Postamt zu leisten.

Der hohen Postgebühren wegen kann Rechnungszusendung in Zukunft nicht mehr erfolgen, diese Aufforderung ist vielmehr als Rechnung zu betrachten. Im Interesse der pünktlichen Lieferung der „Naturwissenschaften“ ist sofortige Bezahlung des Bezugspreises unter ausdrücklicher Angabe „Naturwissenschaften“ Januar 1923 unbedingt notwendig. Für etwa notwendig werdende Mahnungen müssen Rechnungsspesen in Anrechnung gebracht werden.

**Verlag von Julius Springer in Berlin W 9**



## Georg Schweinfurths Forschungen über die Geschichte der Kulturpflanzen.

Von H. Harms, Berlin-Dahlem.

Zu der kürzlich im Verlage von Strecker und Schröder (Stuttgart) erschienenen Festschrift zum siebzigsten Geburtstage *Eduard Selers*, des angesehenen Ethnographen und Erforschers der mexikanischen Altertümer und Sprachen, hat der Altmeister der Afrikaforschung eine Abhandlung beige-steuert, worin wohl zum erstenmal der Versuch gemacht wird, eine Übersicht der von Afrika an Amerika und umgekehrt gegebenen Kulturpflanzen zusammenzustellen: Was Afrika an Kulturpflanzen Amerika zu verdanken hat und was es ihm gab (S. 503—542). *G. Schweinfurth* hat unter der Fülle seiner wissenschaftlichen Interessen den Fragen nach dem Ursprunge und der Geschichte der Kulturpflanzen seine besondere Aufmerksamkeit nie versagt. Bereits am Beginn seiner glänzenden Laufbahn als Forschungsreisender fesselte ihn die Frage nach der Herkunft der ägyptischen Nutzpflanzen; seine Ansichten hat er niedergelegt in einem Aufsatz über den afrikanischen Ursprung ägyptischer Kulturpflanzen, der in der Monatsschrift des Vereins zur Beförderung des Gartenbaus (XIX, 1876, S. 61, in Übersetzung von *P. Ascherson*) wiedergegeben ist. Auf seinen Entdeckungsreisen im Nilgebiete und im Innern von Afrika, ausgehend von dem seit Jahrtausenden in intensivster Kultur befindlichen Ägypten, hatte er manche jetzt im unteren Niltale nur in angebautem Zustande bekannte Pflanze in den unberührten oder weniger kultivierten Gebieten des Südens noch im wilden Zustande angetroffen. Er schloß daraus, daß vor undenklicher Zeit das ganze Niltal einen mehr übereinstimmenden Vegetationscharakter hatte als gegenwärtig und daß erst die Ausbreitung des alten Kulturvolkes der Ägypter eine Flora von seinen nördlichen Ufern verdrängte, der wir heutzutage erst viele hundert Meilen oberhalb begegnen (Im Herzen von Afrika, 3. Aufl., S. 33). Wichtig war vor allem der Nachweis, daß Zentralafrika die Heimat einer Reihe von Kulturpflanzen sei, wie der beiden Bohnenarten *Dolichos lablab* und *Vigna sinensis*, der *Ricinus*-staude, der Wassermelone *Citrullus vulgaris*, der *Luffa cylindrica*, die die sog. Luffa-schwämme liefert.

Das Bestreben, zur Lösung der Fragen nach dem Ursprung der Kulturpflanzen beizutragen, ihre Wanderungen von der Heimat in andere Länder rückschauend zu verfolgen, ihre

Geschichte aufzuklären, ist bei ihm stets lebendig geblieben. Selbst sammelnd oder andere zu Sammlungen und Beobachtungen anregend, war er unausgesetzt in dieser Richtung tätig. Auf seinen Reisen in Ägypten, in Algerien und Tunis, in Eritrea sammelte er mit Vorliebe die Kulturpflanzen und berichtete des öfteren über sie. So stellte er Ägyptens auswärtige Beziehungen hinsichtlich der Kulturgewächse in einer längeren Abhandlung dar (in Verh. Berlin. Anthropologisch. Gesellsch. 1891, S. 649). Nur vorübergehend sei seiner für die Kulturgeschichte so wichtigen Forschungen über die Pflanzenreste aus altägyptischen Gräbern gedacht (Bericht. Deutsch. Bot. Ges. II, 1884, 351). Ein eingehendes Studium widmete er der Dattelpalme und ihren Formen. Mit lebhafter Anteilnahme begrüßte er alle Angaben anderer Forscher über derartige Fragen; so betonte er die Wichtigkeit des durch *Trabut* erbrachten Nachweises, daß in Algerien die wilde Form der Saubohne (*Vicia faba*) vorkommt, wodurch eine alte Angabe von *Plinius* bestätigt wurde.

Zur Lösung der zahlreichen Aufgaben forderte *Schweinfurth* verständnisvolles Zusammenwirken der Botaniker, Geographen, Historiker, Archäologen und Philologen; man vergleiche z. B. seinen anregenden Aufsatz über die Kulturgeschichte (in Englers Bot. Jahrbüchern 45. Bd. (1910), Beibl. Nr. 103, S. 28), wobei er unter Kulturgeschichte im besonderen die Geschichte des Anbaues der Nutzpflanzen verstand. Dabei betonte er das Vorrecht des Naturwissenschaftlers gegenüber dem Historiker und Philologen in der Beurteilung der Dinge, und von den Reisenden verlangte er genaueste Beobachtungen am Standort und Sammlung vollständiger Belege, da nur so Klarheit zu erlangen sei über die Formen der Kulturpflanzen und über den Wildzustand einer bestimmten Art. Er forderte die gründliche Durchforschung der Länder mit zurückgebliebener Kultur, da dort noch Formen der Kulturpflanzen zu finden seien, die den Wildformen näherstehen. Er hatte bittere Klage geführt über die in den letzten Jahrzehnten stattgehabte Vernachlässigung der Pflanzengeschichte in den alten Kulturländern des Ostens, wie Palästina, Syrien und vor allem Mesopotamien. Er hatte aber dann die Freude, die Lösung eines alten Rätsels zu erleben, die Feststellung des Ursprungs unseres Kulturweizens; denn durch *A. Aaronsohn*, einen Landwirt aus Palästina, den er zu Nachforschungen nach dem Urweizen in der Heimat angeregt hatte, wurde der wilde Emmer in Palästina wieder aufgefunden (Bericht.

Deutsch. Bot. Ges. XXVla, 1908, 309). Sein Freund *Paul Ascherson* war ihm auf dem Gebiete der Kulturgeschichte mit seinem staunenswerten historischen und philologischen Wissen, seinem kritischen Scharfblick, seiner gründlichen Kenntnis der Flora Europas und des Orients ein verständnisvoller Berater. Mit Begeisterung begrüßte *Schweinfurth* das große Werk von *Fr. Stuhlmann*, Beiträge zur Kulturgeschichte von Ostafrika, und berichtete darüber in einer Arbeit, die selbst wieder durch die große Zahl eigener Beobachtungen und kritischer Bemerkungen eine reichhaltige Fundgrube für die Geschichte der Kulturpflanzen geworden ist (Zeitschrift Gesellsch. f. Erdkunde, Berlin 1910). Diese knappen Andeutungen mögen genügen zur Würdigung dieser einen Seite von *Schweinfurths* Tätigkeit. Mögen doch alle Botaniker, die in fremde Länder gehen, seinem Vorbilde folgen und in seinem Sinne an der Erforschung der Kulturpflanzen mitwirken!

Wenden wir uns jetzt der eingangs genannten Abhandlung zu. Ein Blick auf die an ihrem Schlusse gegebene Übersicht lehrt, daß von Afrika nach Amerika nur 32, von Amerika nach Afrika dagegen mehr als doppelt soviel, nämlich 81 Arten von Kulturpflanzen gelangt sind. Dies Ergebnis ist überraschend. Zunächst widerspricht es dem im allgemeinen westwärts gerichteten Kulturmarsch des Menschen. Weiter hätte man bei der unbezweifelten landwirtschaftlichen Überlegenheit des schwarzen Afrikaners über den rothäutigen Indianer das Umgekehrte erwarten sollen. Und was Afrika von Amerika empfangt, das sind nicht nur einerseits Kulturen, die jetzt für den Afrikaner von größter Bedeutung und fast unentbehrlich sind, sondern anderseits auch solche, die in der Weltwirtschaft eine große Rolle spielen. Dabei findet man, was übrigens für viele Kulturpflanzen gilt, also auch für manche von Afrika nach Amerika übertragene, daß nicht selten eine Kultur erst in der Fremde ihre volle Bedeutung erhält und für die Fremde viel wichtiger wird, als sie je für die Heimat gewesen war.

Überblicken wir die Reihe der von Afrika nach Amerika übertragenen Arten, so ist darunter eigentlich nur eine Art von sicher afrikanischer Heimat und zugleich weltwirtschaftlicher Wichtigkeit, nämlich der Kaffee, *Coffea arabica*, der, im östlichen Afrika wild, jetzt in den Tropen Amerikas, z. B. in Brasilien, in größtem Maßstabe gebaut wird. Die Banane, *Musa paradisiaca*, stammt nach *E. Werth* aus Südasien und Ozeanien; sie ist jedenfalls nicht afrikanischen Ursprungs, aber vielleicht über Afrika in die Neue Welt geleitet worden. Von den wichtigsten Getreidearten Afrikas haben *Sorghum* (Sudangras, Durra) und *Pennisetum* erst in neuerer Zeit, aber doch nur in beschränktem Umfange bei den Landwirten Amerikas Eingang gefunden. Der Reis, der in einer Wildform in Afrika zuhause ist, dessen Hauptkulturgebiet jedoch durchaus

das tropische Asien ist, dürfte zu den durch Vermittlung von Europa nach Amerika überkommenen Kulturgeschenken gehören, wo er übrigens keine große Rolle spielt; der Reisbau ist außerdem in Afrika relativ neueren Ursprungs. Vielleicht gehört er im wilden Zustande ursprünglich dem tropischen Afrika sowohl wie dem südasiatischen Gebiet an. Das Zuckerrohr ist die wichtigste Kulturgabe, die Amerika Asien verdankt. Von Hülsenfrüchten hat Afrika drei Arten an Amerika gegeben, *Vigna sinensis*, *Dolichos lablab*, *Cajanus indicus*. Von ihnen hat aber nur *Vigna sinensis* im südlichen Nordamerika eine größere Bedeutung erlangt; sie ist sicher in Afrika, vielleicht aber gleichzeitig auch in Ostindien oder Südasien heimisch. *Dolichos lablab* ist zweifellos afrikanischen Ursprungs, und dasselbe soll nach *Schweinfurth* für die Strauchbohne, *Cajanus indicus*, gelten, die übrigens in Ostindien als Kulturpflanze eine größere Rolle spielt als in Afrika. Von erheblich größerer Wichtigkeit für die Neue Welt sind drei Arten der Kürbisgewächse (Cucurbitaceen) geworden, die ihre Heimat in Afrika oder in Afrika und zugleich in Südasien haben: die Melone (*Cucumis melo*), die in Amerika wild vorkommende Wassermelone (*Citrullus vulgaris*) und der Flaschenkürbis (*Lagenaria vulgaris*). Die beiden erstgenannten sind wohl erst nach der Entdeckung Amerikas der Neuen Welt zugeführt worden, wo sie jetzt als Früchte in allen wärmeren Gegenden eine sehr große Bedeutung erlangt haben. Der Flaschenkürbis ist in verschiedenen Teilen der altweltlichen Tropen in sehr wahrscheinlich wildem Zustande angetroffen worden (Gebirge Ostafrikas, Ostindien, Molukken); er ist aber nach der Meinung mancher Autoren schon vor der Ankunft der Europäer in Amerika bekannt gewesen und dort reichlich zu Flaschen und Gefäßen verwertet worden, wie die peruanischen Altertümer bezeugen (vgl. *H. Harms* in Seler-Festschrift, 1922, 186). Die Dattelpalme (*Phoenix dactylifera*) wurde erst in neuerer Zeit in die trockenen Gebiete des südlichen Nordamerika eingeführt. Die mutmaßliche Heimat der wilden Urform der Dattelpalme liegt nach *Schweinfurth* eher in Afrika als in Westasien; als Urform sei irgendeine Modifikation der *Phoenix reclinata* zu betrachten, die heute noch in jenen Steppen und Hochländern verbreitet ist, zu denen Übergänge aus den Wüsten führen.

Nach Durchmusterung des kleineren Füllhorns der im Austausch beider Erdteile von Afrika dargebotenen Gaben wenden wir uns zu dem viel größeren, wo Amerika der gebende, Afrika der empfangende Teil war. Ein viel reicheres Bild bietet sich da: groß ist die Mannigfaltigkeit der Geschenke Amerikas, wohlschmeckende Früchte in Menge, Gewürze, Reizmittel und Genußmittel, Ölfrüchte, nährstoffreiche Knollen, vortreffliche Hülsenfrüchte und eine der wichtigsten Getreidearten, der Mais, der mit unseren alten Cerealien



den Wettbewerb aufgenommen hat. Brasilien und Westindien, Ober- und Niederguinea waren die Brückenköpfe des Verkehrs, die Portugiesen vorzugsweise die Vermittler.

Der Mais hat sich von Amerika aus schneller als irgendeine andere Kulturpflanze die alte Welt erobert und ist jetzt nächst dem Weizen die wichtigste Körnerfrucht; er ist offenbar schon seit langer Zeit bis tief in das innerste Afrika gedungen und dort überall wohlbekannt. *Schweinfurth* teilt einiges aus der Geschichte der Maiskultur mit: Auf einem Bild des Malers *Burghmair* in der Münchener Pinakothek (Offenbarung des Apostels Johannes auf Patmos), das 1518 gemalt ist, wird bereits der Mais dargestellt, war also damals schon, 25 Jahre nach der Entdeckung Amerikas, eine in Italien offenbar wohlbekannte Pflanze. — Gerade die dem Afrikaner liebsten, weil für seinen uralten Hackbau geeignetsten Erdfrüchte, wie Maniok, Batate und Erdnuß, hat ihm Amerika geliefert. Der eßbare Knollen liefernde Maniok (Kassave), *Manihot utilissima*, ist jetzt neben Sorghum vielleicht die wichtigste Kulturpflanze des tropischen Afrika, ohne die heutige Negerkulturen kaum zu denken sind, in ähnlicher Weise, wie wir uns die Ernährungsverhältnisse Europas ohne die Gabe Amerikas, die Kartoffel, schwer vorstellen können. An letzterer hat übriges Afrika bisher nur geringen Anteil gehabt; indessen dürfte der Kartoffelbau für die dortigen Gebirge noch eine große Zukunft haben. Viel wichtiger ist die sogenannte süße Kartoffel, die Batate, *Ipomoea batatas*, die sich schon lange alle wärmeren Gebiete der Erde erobert hat. Sie ist übrigens, was *Schweinfurth* entgangen ist, sehr wahrscheinlich nur eine Kulturform der von Mexiko und Westindien bis Brasilien verbreiteten *Ipomoea fasciculata* Sw. (jetzt *Ipomoea tiliacea* (W.) Choisy; vgl. *H. Hallier* in Englers Bot. Jahrbuch. XVIII (1893), 139; *Urban*, Symbolae antill. VIII (1921), 753, nach freundlicher Angabe von Herrn Geh.-Rat *Urban*). — Von Hülsenfrüchten hat Amerika die beiden für die menschliche Ernährung so wichtigen Arten, die Gartenbohne (*Phaseolus vulgaris*) und die Mondbohne oder Limabohne (*Phaseolus lunatus*) geliefert, von denen letztere gerade für die Tropen in Betracht kommt, während sich die Gartenbohne mehr für gemäßigte oder subtropische Gegenden eignet. Für die Afrikaner, die über eigene, von ihnen selbst herangezogene Hülsenfrüchte verfügten, spielten sie zunächst nicht eine große Rolle. In gewissen Gegenden des Kontinents ist aber die Limabohne allgemein verbreitet, und in neuerer Zeit gewinnt die Gartenbohne besonders in den Berggegenden an Boden. *Schweinfurth* erwähnt eine klein- und kugelrundsamige Form von *Phaseolus lunatus* aus Ostafrika; er hält es für möglich, daß diese Form einer in Afrika oder Südasien heimischen Form der Art oder einer eigenen, dem *Ph. lunatus* verwandten Wildart entstamme. Die Ölfrucht *Arachis hypogaea*, die in Amerika heimische und

schon für die Incazeit nachgewiesene Erdnuß, bietet uns wieder das Beispiel einer erst in der Fremde zu größter Wichtigkeit gelangten Kultur, die in Westafrika in hoher Blüte steht und eine erhebliche Ausfuhr abgibt; soll doch ein großer Teil des sog. Olivenöles von dieser Hülsenfrucht herrühren. Wenn *Schweinfurth* weiter die im Ölhandel eine so große Rolle spielende Kokosnuß (*Cocos nucifera*) auch den amerikanischen Gaben zurechnet, so sei demgegenüber darauf hingewiesen, daß *P. Preuß* (Die Kokospalme [1911], 2) die Inselgebiete des Stillen Ozeans für die Heimat der Kokospalme hielt, ferner daß der beste Palmenkenner, *O. Beccari*, die Ansicht vertreten hat, daß ein asiatischer oder polynesischer Ursprung der Kokospalme mehr Wahrscheinlichkeit habe als ein amerikanischer (*O. Beccari* in Philipp. Journ. Scienc. Bot. XII, 1 [1917], 27 bis 43; nach freundlicher Angabe von *J. Urban*); sie wäre danach eine Kulturgabe der Alten Welt. — Die wichtigste Gemüsefrucht, die wir Amerika verdanken, ist unser Kürbis mit seinen beiden, einander sehr nahestehenden Arten *Cucurbita pepo* und *C. maxima*, denen sich noch *C. moschata* anschließt. Den Ausführungen *Schweinfurths* über den Kürbis können wir nicht ganz beistimmen, wenn er für *C. pepo* amerikanischen, aber für *C. maxima*, *De Candolle* folgend (Orig. pl. cult. 202), altweltlichen Ursprung annimmt. Nach den Untersuchungen von *Fischer-Benzon* in seiner „Altdeutschen Gartenflora“ (1894), 92, und seitdem *L. Wittmack* die Samen von *Cucurbita maxima* und *moschata* in den Gräberfunden von Peru nachgewiesen hat (in Bericht. Deutsch. Bot. Gesellsch. VI [1888], 378), ist es sicher, daß unser heutiger gelbblühender Kürbis dem Altertum und Mittelalter noch nicht bekannt gewesen ist und erst nach der Entdeckung Amerikas in die Alte Welt eingeführt worden ist. Bis zur Entdeckung Amerikas kannte man in Europa nur den weißblütigen Flaschenkürbis (*Lagenaria vulgaris*), und auf ihn allein beziehen sich die Angaben von *Plinius* unter *Cucurbita*, da er von der Verwendung zu Gefäßen spricht, was auf unseren Kürbis nicht paßt. Für *Cucurbita pepo* gibt *Schweinfurth* selbst als Heimat Mexiko und Texas an. Was wir als Kürbis kultivieren, ist der Hauptsache nach *C. pepo*, zum Teil aber auch *C. maxima*. Bei der nahen Verwandtschaft beider Arten wäre es durchaus unwahrscheinlich, wenn die eine altweltlichen, die andere neuweltlichen Ursprungs wäre; zudem ist die Gattung sonst ganz amerikanisch. — Groß ist die Zahl an tropischen Obstfrüchten, die Amerika geliefert hat; einige davon haben sich in verwildertem Zustande in Afrika weit ausgebreitet. Es seien genannt der Melonenbaum (*Carica papaya*), die Guayave (*Psidium guayava*), die vier *Anona*-arten, die Ananas (oft verwildert), die Avocadobirne (*Persea gratissima*). *Schweinfurth* nennt nicht weniger als 27 Obstfrüchte amerikanischen Ursprungs, die Afrika erhalten hat. Für das nördliche Afrika sei noch auf die indische Kaktus-

feige, *Opuntia ficus indica*, hingewiesen, die jetzt ein charakteristischer Bestandteil der Mittelmeerflora ist. Amerika verdankt man von Gewürzen vor allem den spanischen Pfeffer (*Capsicum*), der sich in Afrika überall als Kulturpflanze oder Gartenflüchtling eingebürgert hat. Von Genußmitteln amerikanischer Herkunft ist an erster Stelle der Tabak (*Nicotiana Tabacum* und *rustica*) zu nennen; seit drei Jahrhunderten ist er in Afrika allgemein verbreitet. Der Kakao, dessen Heimat im nördlichen Südamerika liegt, wurde erst in neuerer Zeit nach Westafrika übergeführt. — Zahlreiche für Handel und Gewerbe wichtige Pflanzen hat Afrika von Amerika erhalten. Von Faserpflanzen seien die drei amerikanischen Baumwollarten genannt: *Gossypium barbadense*, *hirsutum* und *peruvianum*, von denen die erstgenannte hauptsächlich das wertvolle ägyptische Produkt liefert; ferner der aus Zentralamerika stammende Sisalhanf (*Agave sisalana*), jetzt eine wichtige Kultur für Ostafrika. Auch die Kultur der für die Industrie unentbehrlichen amerikanischen Kautschukpflanzen, *Castilloa elastica*, *Hevea brasiliensis* und *Manihot Glaziovii*, hat man in Afrika einzubürgern gesucht, allerdings mit nur geringem Erfolg. Hinzuweisen ist ferner auf die Einführungsversuche wertvoller amerikanischer Arzneipflanzen, wie der Chinarindenbäume (*Cinchona*) und des Cocastrauches (*Erythroxylon*). Schließlich der Anteil, den Afrika an amerikanischen Zierbäumen und Ziersträuchern erhalten hat, nicht gering anzusetzen.

Der überraschende Gegensatz zwischen den Tropen Amerikas und Afrikas an Nutzpflanzen beruht offenbar ausschließlich auf der überlegenen Mannigfaltigkeit der amerikanischen Flora, nicht auf einer höheren Ackerbaukultur der amerikanischen Völker. Was die gemäßigten oder subtropischen Gebiete Amerikas an Nutzpflanzen geliefert haben, ist jedenfalls viel geringer als das, was man den klimatisch entsprechenden Gebieten der Alten Welt verdankt, die allerdings größtenteils auch einen viel höherstehenden Ackerbau schon seit alter Zeit hatten.

Die Wissenschaft ist dem greisen, aber noch so unermüdlich schaffenden Forscher, der am Ende dieses Jahres (29. Dezember) das sechsundachtzigste Lebensjahr vollendet, zu großem Dank dafür verpflichtet, daß er uns hier, rückblickend auf unvergleichlich reiche Erfahrungen eines langen, von Arbeit und Erfolg gesegneten Lebens, eine Übersicht des Austausches der Kulturpflanzen zwischen Afrika und Amerika gegeben hat. A. de Candolle hat in seinem grundlegenden Werke über den Ursprung der Kulturpflanzen auseinandergesetzt, welche Schwierigkeiten die Aufhellung dieser Fragen hat und welche verschiedenen Methoden dabei heranzuziehen sind; es gehören dazu nicht nur umfassende botanische, sondern auch reiche sprachliche und geschicht-

liche Kenntnisse, die Fähigkeit, sich in die Vergangenheit der Kulturen einzuleben und von da aus den Entwicklungsgang rückschauend wieder aufzubauen, den die Pflanze vom wilden Urzustand an bis zu ihrem Anbau durch den Menschen genommen hat. Schweinfurths vielseitiger beweglicher Geist ist vertraut mit den vielverschlungenen Pfaden dieses Grenzgebietes zwischen Botanik und Geschichte im weitesten Sinne. Wer künftig eine auf den neuesten Stand der Forschung gebrachte Geschichte der Kulturpflanzen schreibt, wird, wenigstens für Afrika, die Forschungen und Darlegungen des Altmeisters, den wir Botaniker mit Stolz zu den unseren zählen, als eine der wichtigsten Grundlagen seiner Arbeit ansehen.

### Die Unregelmäßigkeit (Arhythmie) des Herzschlages

Von C. J. Rothberger, Wien.

(Schluß.)

Wichtiger und häufiger als das Vorhofflattern ist das Vorhofflimmern, welches die Experimentatoren schon lange kennen. Wenn man den normal schlagenden Vorhof eines Tieres bloßlegt, sieht man einzelne von deutlichen Pausen getrennte ruckförmige Kontraktionen; die Pausen sind um so länger, je langsamer das Herz schlägt. Wenn man nun den Vorhof mit einem genügend starken elektrischen Strom reizt, hören die rhythmischen Kontraktionen auf und werden durch wühlende und wogende Bewegungen ersetzt, die ohne Unterbrechung über den Vorhof ablaufen; da gibt es keine Pause mehr. Man kann ein grobes und ein feines Vorhofflimmern unterscheiden; beim groben Flimmern sieht man noch Zuckungen größerer Muskelpartien, es sieht ähnlich aus wie Flattern, aber die Bewegungen sind unregelmäßig. Beim feinen Flimmern scheint der Vorhof still zu stehen und nur bei genauer Beobachtung sieht man an der feuchten Oberfläche ganz feine Wellen ablaufen, so wie wenn ein leichter Wind über eine Wasseroberfläche streicht. In dem Augenblick, wo die Vorhöfe zu flimmern anfangen, beginnen die Kammern ganz unregelmäßig zu schlagen. Diese Unregelmäßigkeit unterscheidet sich von den anderen Formen von Arhythmie durch ihre vollkommene Regellosigkeit. Während bei den Extrasystolen die Rhythmusstörung in gesetzmäßiger Weise vollständig oder unvollständig kompensiert wird, und der Normalrhythmus immer wieder zum Vorschein kommt, wechseln beim Vorhofflimmern Herzperioden von ganz verschiedener Länge miteinander ab, ohne daß irgendeine Gesetzmäßigkeit aufgefunden werden könnte. Auch die Pulsgröße wechselt von Schlag zu Schlag, ohne daß, wie es sonst der Fall ist, eine Beziehung zwischen der Größe des Pulses und der Länge der vorhergehenden Pause bestünde. Bei den Extrasystolen ist, wie wir gesehen haben, der Puls um so kleiner, je früher die Extrasystole kommt, beim Vorhof-



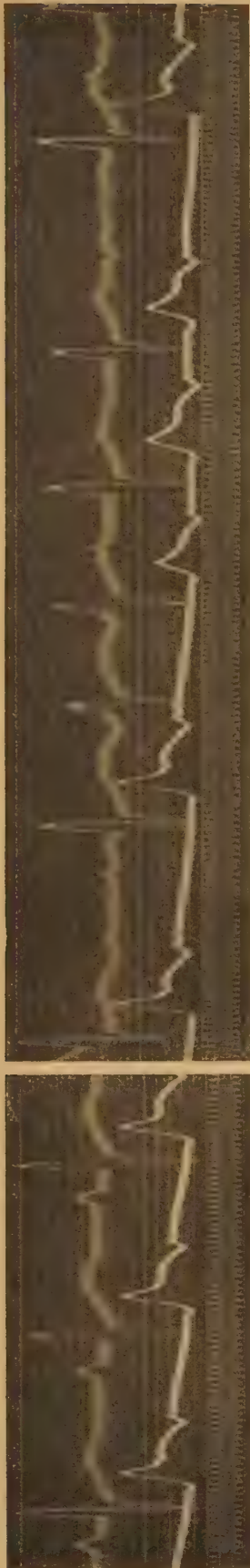


Fig. 13. Elektrokardiogramm vom Hund, vor und nach Auslösung von Vorhofflimmern durch elektrische Reizung. Oben Ekg, darunter Puls aus der Karotis, unten Zeitschreibung in fünfzigstel Sekunden.

flimmern aber sieht man nach langen Pausen kleine und nach kurzen Pausen große Pulse. Das Elektrokardiogramm zeigt beim Vorhofflimmern ganz charakteristische Veränderungen (Fig. 13). So wie beim bloßgelegten Herzen die rhythmischen Kontraktionen aufhören, so verschwinden in der elektrischen Kurve die *P*-Zacken. Während ferner bei normaler Vorhoftätigkeit die Grundlinie der elektrischen Kurve während der Herzpause als wagerechter Strich erscheint (Fig. 13 links), wird dieser nach Eintritt des Flimmerns ganz verzittert, weil jetzt die Vorhöfe auch in der Pause fortwährend wühlende Bewegungen ausführen, die eben auch zu elektrischen Strömen Anlaß geben. Das Elektrokardiogramm zeigt ferner ganz deutlich den Eintritt der Arrhythmie, indem die Pausen zwischen den einzelnen Herzschlägen nun ganz ungleich lang sind. Die unter dem Elektrokardiogramm abgebildete, gleichzeitig aufgenommene Pulscurve zeigt diese Unregelmäßigkeit auch sehr deutlich und läßt überdies erkennen, daß manche Herzschläge keinen Puls erzeugen, also für den Kreislauf ohne Nutzen sind und daß die Größe der Pulse nicht von der Länge der vorhergehenden Pause bestimmt wird.

Diese merkwürdige Unregelmäßigkeit ist auch den Ärzten schon lange aufgefallen und man hat über die Ursache dieser Arrhythmie viel nachgedacht, bis endlich im Jahre 1909 von *Rothberger* und *Winterberg* an der Hand elektrischer Kurven nachgewiesen wurde, daß diese Unregelmäßigkeit des Herzschlages auch beim Menschen auf Vorhofflimmern beruht. Bald darauf und unabhängig von den Wiener Autoren hat dann *Lewis* in London, ein Schüler *Mackenzies*, diesen Nachweis auf Grund ausgedehnter Untersuchungen erbracht, und er konnte an Pferden, bei denen dieselbe Arrhythmie vorkommt, nach Eröffnung des Brustkorbes die Vorhöfe flimmern sehen. Das Vorhofflimmern ist beim Menschen sehr häufig, hat aber für die davon Betroffenen nicht immer dieselbe Bedeutung. Es gibt Leute, die gar nicht wissen, daß ihr Herz ganz unregelmäßig schlägt, und bei denen das Vorhofflimmern nur durch Zufall entdeckt wird. Andere fühlen wohl, daß ihr Herz abnorm schlägt, aber das Vorhofflimmern beeinträchtigt ihre Leistungsfähigkeit nur wenig und sie können weiter ihrem Berufe nachgehen. Ich habe einen 60jährigen Arzt gekannt, bei dem das Vorhofflimmern vor 15 Jahren zuerst vorübergehend infolge seelischer Aufregung aufgetreten, sich aber bald dauernd festgesetzt hatte. Er hatte auch bei Anstrengung keinerlei abnorme Erscheinungen und starb im 68. Lebensjahre, u. zw. nicht an seinem Herzen.

In anderen Fällen ist aber der Eintritt von Vorhofflimmern von schweren Kreislaufstörungen begleitet. Es handelt sich dabei meist um Kranke mit Klappenfehlern oder Herzmuskelentartung. Wenn diese Kranken sich bei normaler Vorhoftätigkeit einigermaßen wohl fühlen, be-

kommen sie wenige Stunden nach dem Beginn des Flimmerns die Erscheinungen schwerer Herzschwäche und sie können in einigen Tagen zugrunde gehen, wenn es nicht gelingt, die normale Vorhofftätigkeit wiederherzustellen oder wenigstens die Arbeit des Herzens zu erleichtern. Leider kennen wir bisher kein Mittel, welches das Vorhofflimmern sicher beseitigen oder verhüten könnte. Das Vorhofflimmern tritt gewöhnlich zunächst in Anfällen auf, die in Zwischenräumen von Tagen oder Wochen sich einstellen. Diese freien Intervalle werden aber bald immer kürzer und schließlich setzt sich das Vorhofflimmern dauernd fest und kann Jahrzehnte lang bestehen, wobei das Herz in einem fort ganz unregelmäßig schlägt.

Wenn man in dem Stadium, wo das Vorhofflimmern noch anfallsweise auftritt, verschiedene Mittel versucht, kann es leicht scheinen, als ob eines von ihnen gewirkt hätte. Man weiß aber nie, ob der Anfall nicht auch so aufgehört hätte, denn die Anfälle sind von sehr verschiedener Länge. Es wäre deshalb zur Erprobung eines Heilmittels die Zeit geeigneter, wo das Vorhofflimmern dauernd besteht, aber gerade da ist es gewöhnlich jeder Behandlung unzugänglich. Man versucht jetzt Chinin oder Chinidin, und nach den bisherigen Erfahrungen kann man das Vorhofflimmern in etwa der Hälfte der Fälle wenigstens vorübergehend beseitigen. Wenn das Vorhofflimmern bei schwer Herzleidenden sich einstellt und zu lebensgefährlichen Kreislaufstörungen führt, gibt man aber kein Chinin, weil es die kranken Herzen nicht vertragen, sondern man gibt Digitalis. Dieses Mittel ist zwar nicht imstande, das Vorhofflimmern zu beseitigen, aber es hat eine andere, sehr wertvolle Eigenschaft, infolge deren die schweren Störungen in wenigen Stunden verschwinden. Diese Störungen entstehen nämlich nicht unmittelbar durch das Vorhofflimmern, sondern dadurch, daß die Schleuse an der Vorhof-Kammergrenze nicht ordentlich funktioniert, so daß die Kammern durch die von oben kommenden zahllosen Reize zu oft zur Kontraktion gebracht werden; sie schlagen zu oft, die Pausen sind zu kurz, und der Herzmuskel erschöpft sich. Dazu kommt, daß viele Kontraktionen infolge der Kürze der vorhergehenden Pause kein Blut fördern, so daß nutzlos Kraft verschwendet wird. Das Herz ermüdet infolge seiner überstürzten Tätigkeit, die Weiterbeförderung des Blutes ist sehr unvollständig, und so entsteht das Bild der schweren Herzschwäche mit Atemnot, Blausucht, Anschwellen der Beine und der Leber usw. Wenn man einem solchen Kranken Digitalis in genügender Menge gibt, so wird zwar das Vorhofflimmern dadurch nicht beeinflusst, es wird aber der Übergang der Erregungen auf die Kammern sehr stark eingeschränkt, es werden nur etwa 60—70 in der Minute durchgelassen; dadurch entstehen längere Pausen, in denen das Herz

ordentlich gefüllt wird, der Herzmuskel sich nach der vorhergehenden Kontraktion gut erholen kann, so daß er, wenn auch nach wie vor in unregelmäßigen Zwischenräumen, doch kräftige Pulse erzeugt, von denen jeder dem Kreislauf zugute kommt; der Herzmuskel verschwendet jetzt durch wirkungslose Kontraktionen keine Kraft mehr. In solchen Fällen hat die Digitalis eine geradezu zauberhafte Wirkung, und Kranke, die schon unrettbar dem Tode verfallen schienen, sind oft in wenigen Stunden kaum mehr wieder zu erkennen, auch wenn das Vorhofflimmern weiter fortbesteht. Diese Erfahrung sowie die Tatsache, daß Leute mit gesundem Herzmuskel das Vorhofflimmern durch Jahrzehnte hindurch ohne wesentliche Störungen ertragen können, weist darauf hin, daß es hauptsächlich auf den Zustand des Herzmuskels ankommt und darauf, daß die Kammern nicht durch zu viele von den Vorhöfen kommende Erregungen allzusehr in Anspruch genommen werden.

## 2. Die Störungen der Reizleitung.

Der im Sinusknoten gebildete normale Kontraktionsreiz wird den anderen Herzteilen zugeleitet und so entsteht die normale Aufeinanderfolge in der Kontraktion der einzelnen Herzkammern. Nun wird diese Funktion der Reizleitung

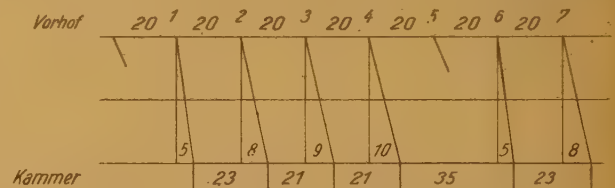


Fig. 14. Schema der Leitungsstörung.

jedesmal, wenn sie ausgeübt wird, für kurze Zeit erschöpft, und muß sich im Laufe der Pause erholen, bevor wieder ein Reiz geleitet werden kann. Unter normalen Verhältnissen ist die Dauer der Herzpause auch bei rascher Herztätigkeit ausreichend; wenn das Leitungssystem aber krank ist oder nervös stark gehemmt wird, ist die normale Herzpause nicht mehr ausreichend und es entstehen Leitungsstörungen. Diese äußern sich zunächst darin, daß das Intervall zwischen Vorhof- und Kammerkonzentration — im Elektrokardiogramm das Intervall  $P-R$  — abnorm lang wird. Wenn die Leitung noch mehr leidet, kommt es zu periodischen Störungen, indem die Reize immer langsamer geleitet werden, bis endlich einer stecken bleibt. Dadurch entsteht eine längere Pause, und dann kann der nächste Reiz wieder rascher übergehen, wie es in Fig. 14 dargestellt ist. Die Zwischenräume zwischen den einzelnen Vorhofkontraktionen betragen 20 Zeiteinheiten und sind immer gleich lang. Der erste Reiz braucht 5 Zeiteinheiten, um auf die Kammer überzugehen, der zweite schon 8, der dritte 9 und der vierte 10, worauf der fünfte stecken bleibt. In der langen Pause, die dadurch entsteht, kann sich die Reizleitung wieder erholen und es be-



ginnt dieselbe Reihe von neuem. Man sieht, daß infolge dieser periodisch wechselnden Leitungszeiten die Kammertätigkeit unregelmäßig wird, denn da die Kammer auf den zweiten Reiz um 3 Zeiteinheiten länger warten muß als auf den ersten, kommt an Stelle des normalen Intervalls 20 das Intervall 23 zustande; das nächste ist 21 ( $20 + 9 - 8$ ), die Pause 35 ( $2 \times 20 + 5 - 10$ ); aber diese Unregelmäßigkeit ist selbst wieder gesetzmäßig und die Reihe 23, 21, 21, 35 wiederholt sich immer in derselben Weise, solange sich an den Vorgängen selbst nichts ändert. Wenn die Leitung stärker geschädigt ist, fällt schon jeder zweite Kammerschlag aus, es besteht „Block 2 : 1“, und die Kammern schlagen nur halb so oft wie die Vorhöfe. Auf diese Weise kann die Zahl der Kammerkontraktionen auch auf  $\frac{1}{3}$  oder  $\frac{1}{4}$  herabgesetzt werden (Block 3 : 1, 4 : 1), es kann so eine

untergeordneten Zentren, von denen wir oben sprachen, in Funktion und verhindern den Eintritt des Todes. Diese Zentren arbeiten aber viel langsamer als die Vorhöfe, und so entsteht ein Zustand, in dem die Kammern zwar regelmäßig, aber viel langsamer und unabhängig von den Vorhöfen schlagen. Gewöhnlich beträgt die Frequenz der Kammern etwa ein Drittel von der der Vorhöfe. Das Elektrokardiogramm (Fig. 15) zeigt die in regelmäßigen Abständen stehenden isolierten P-Zacken und die viel selteneren, in größeren Abständen stehenden Kammerzacken. Wenn die Vorhoffrequenz genau dreimal so hoch ist wie die Kammerfrequenz, was streckenweise vorkommt, kann die Kurve so aussehen, wie ein Block 3 : 1, also wie eine unvollständige Leitungsstörung, aber bald gehen die Frequenzen doch auseinander, und dann erkennt man an den wechselnden Ab-

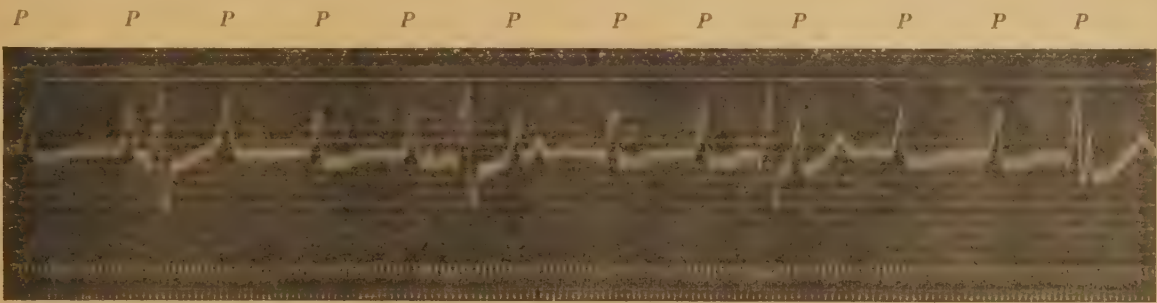


Fig. 15. Dissoziation zwischen Vorhöfen und Kammern nach Durchschneidung des Übergangsbündels beim Hunde. Vorhoffrequenz 200, Kammerfrequenz 63.

starke Pulsverlangsamung entstehen, die sich aber von der echten Bradykardie dadurch unterscheidet, daß nicht das ganze Herz langsam schlägt, sondern nur die Kammern. Die Leitungsstörung muß auch nicht konstant bleiben, es kann ein Block 2 : 1 mit stärkeren Störungen wechseln oder es gehen einmal mehrere Vorhofreize hintereinander über, worauf der Block wieder vorübergehend stärker wird, so daß auf diese Weise sehr verschiedene Arrhythmien entstehen können. Das Elektrokardiogramm zeigt in solchen Fällen auf den ersten Blick die P-Zacken, die nicht von den Kammerzacken R und T gefolgt sind, sondern isoliert stehen, so wie es ja auch die Fig. 12 (Vorhofflattern) zeigt; nur kann man in diesem Falle nicht von einer Leitungsstörung im pathologischen Sinne sprechen, denn das normale Reizleitungssystem soll ja gar nicht imstande sein, 240 Reize in der Minute weiter zu geben.

Wenn man das die Vorhöfe mit den Kammern verbindende schmale Muskelbündel (Hissches Bündel) zusammendrückt, durchschneidet, oder wenn es durch einen krankhaften Vorgang zerstört wird, entsteht die „atrio-ventrikuläre Dissoziation“. In diesem Zustande bekommen die Kammern von den Vorhöfen überhaupt keinen Reiz mehr, und das Herz müßte dauernd stehenbleiben, wenn die Kammern nicht die Fähigkeit hätten, selbst Reize zu bilden. Es treten nun die

ständen zwischen P und R die Dissoziation. Während nämlich die Vorhöfe, die nach wie vor vom Sinusknoten her angeregt werden, der Zügelung durch die Herznerven weiter unterworfen sind und ihre Frequenz also auch mit der Atmung schwankt, sind die automatisch schlagenden Kammern dem Einfluß der Herznerven entrückt; ihr Tempo ist merkwürdig starr und wird auch durch körperliche Arbeit nicht beschleunigt, vom Vagus nicht verlangsamt.

Auch beim Menschen kommt diese Dissoziation bei Erkrankungen vor, die das Hissche Bündel zerstören oder komprimieren. Es entsteht dann die sogenannte „Adams-Stokessche Krankheit“, welche charakterisiert ist durch eine dauernde Verlangsamung der Kammertätigkeit (30—40 in der Minute), während die Vorhöfe mit normaler Frequenz schlagen. Bei diesen Kranken kommt es in dem Augenblick, wo die Leitungsstörung, die meist schon früher in geringerem Grade bestand, vollständig wird, zunächst zu einem Stillstand der Kammern, die auf einmal keinen Reiz mehr von den Vorhöfen bekommen. Während ein Stillstand von 2—3 Sekunden eben noch als Störung empfunden wird, kommt es nach 10" zu Bewußtlosigkeit, nach 20" außerdem noch zu epileptiformen Krämpfen. In einem Falle war gar durch 2 Min. 10" kein Herzschlag zu fühlen. Die Dauer des Stillstandes hängt von der Reizbildungsfähigkeit

des untergeordneten Zentrums ab, welches jetzt für das Weiterschlagen des Herzens zu sorgen hat. Diese Fähigkeit erwacht verhältnismäßig langsam, und schon mit den ersten Schlägen kehrt das Bewußtsein zurück. Die erste Pause nach der Unterbrechung der Leitung — die präautomatische Pause — ist die längste, die folgenden werden immer kürzer, bis eine Frequenz von ungefähr 30—40 erreicht ist. Diese bleibt dann dauernd bestehen, wobei keine weiteren Störungen auftreten. Die Kranken gewöhnen sich an diese niedere Frequenz, und es sind Fälle bekannt, wo die Kranken nicht nur jahrzehntelang gelebt haben, sondern auch ihrem Berufe nachgegangen sind. Freilich kommt es meist vor, daß ab und zu immer wieder längere Stillstände auftreten, so daß diese Kranken nie vor Anfällen von Bewußtlosigkeit sicher sind. Diese Anfälle kommen entweder ganz plötzlich oder die Kranken haben doch ein Vorgefühl, das ihnen gerade noch gestattet, sich niederzulegen, während andere Kranke ein-

man nun den rechten Schenkel durchschneidet, was man im Tierversuch bei schlagendem Herzen mit ganz schmalen Messern tun kann, dann kann der Reiz nicht mehr direkt zur rechten Kammer gelangen, es wird die linke früher zur Kontraktion gebracht und die rechte bekommt den Reiz erst auf dem Umweg über die linke Kammer, wodurch eine Verspätung um 0,03—0,04" entsteht. Diese Änderung in der Koordination der beiden Kammern findet nun im Elektrokardiogramm einen sehr prägnanten Ausdruck, denn das Ekg verdankt seine Normalform der normalen Reizausbreitung in den beiden Kammern. In der Fig. 16a sieht man das normale Ekg eines Hundes mit den bekannten Zacken *P*, *R* und *T* (diese letztere ist hier nach abwärts gerichtet). Die Fig. 16b zeigt das Ekg nach Durchschneidung des rechten Schenkels: die Zacke *P* ist unver-

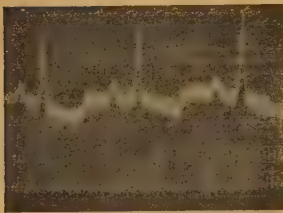


Fig. 16a.

Elektrokardiogramm des Hundes nach Durchschneidung des rechten Tawaraschen Schenkels.

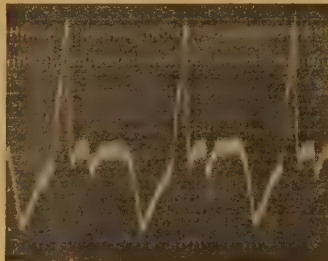


Fig. 16b.

fach umfallen. Während des Bewußtseinsverlustes ist die Atmung langsam und röchelnd, manchmal hört sie ganz auf. Die Anfälle dauern meist nur einige Sekunden, höchstens Minuten, dann erwachen die Kranken ohne Lähmung, sind gleich wieder bei sich, nur manchmal etwas verworren, während andere ein unterbrochenes Gespräch fortsetzen können. Endlich kann aber doch in einem solchen Anfall der Tod eintreten, wenn das untergeordnete Zentrum sich gar zu lange besinnt.

Sehr interessant sind die Veränderungen des Elektrokardiogramms, die auftreten, wenn die Reizleitung nicht im Hauptschenkel des Übergangsbündels unterbrochen ist, sondern nur in einem der beiden Schenkel. In diesem Falle bleibt die normale Aufeinanderfolge der Vorhof- und der Kammerkontraktion erhalten, weil der Reiz durch den erhaltengebliebenen Schenkel zu den Kammern gelangt. Geändert hat sich aber die Art und Weise, in der die beiden Kammern erregt werden. Normalerweise geschieht dies gleichzeitig, oder die rechte bekommt den Reiz etwas früher, weil der rechte Schenkel etwas kürzer ist als der linke; der Zeitunterschied ist aber sehr gering, meist kleiner als 0,01". Wenn



Fig. 17a.

Elektrokardiogramm des Hundes nach Durchschneidung des linken Tawaraschen Schenkels.

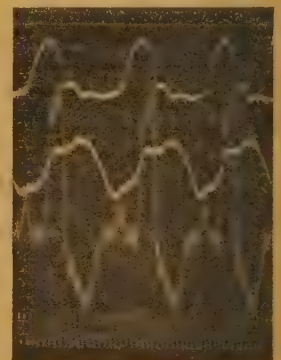


Fig. 17b.

ändert geblieben und auf sie folgt — als Zeichen der normalen Aufeinanderfolge der Vorhof- und der Kammerkontraktionen — in normalem Abstände das Kammer-Ekg, das aber nun eine ganz andere Form hat: statt der Zacke *R* sieht man eine tief nach abwärts reichende Zacke und *T* ist nun hoch und nach aufwärts gerichtet. Dieses Kammer-Ekg sieht ganz so aus, wie eine vom linken Ventrikel ausgelöste Extrasystole, und tatsächlich ist ja die Aufeinanderfolge der Kontraktion der beiden Kammern dieselbe, wie wenn man die linke Kammer künstlich gereizt hätte; denn auch dann zieht sie sich vor der rechten zusammen. Die Fig. 17a und b zeigen die bei einem anderen Hunde gewonnenen Kurven vor und nach Durchschneidung des linken Schenkels; da bekommt das Kammer-Ekg die umgekehrte Form, es sieht aus wie eine Extrasystole vom rechten Ventrikel, nur daß auch hier die Vorhofzacke *P* im normalen Abstände vorangeht. Derartige Veränderungen sind auch beim Menschen schon wiederholt beobachtet worden, und in einigen Fällen hat man auch bei der Obduktion die Leitungsunterbrechung in dem betreffenden Schenkel nachweisen können. Wenn beide Schenkel nacheinander durchschnitten werden, tritt Dissozia-



tion zwischen Vorhöfen und Kammern ein, so wie bei der Unterbrechung der Leitung im Hauptstamme. Auch die Leitungsunterbrechung in den feineren Verzweigungen eines Schenkels führt zu ganz charakteristischen Veränderungen des Elektrokardiogramms; diese sind vorläufig nur experimentell studiert worden, werden aber gewiß auch beim Menschen aufgefunden werden, wenn man sie einmal erkennen gelernt hat. Diese nur im Elektrokardiogramm nachweisbaren Veränderungen gestatten eine sehr feine Lokalisation krankhafter Vorgänge, und hier eröffnet sich der klinischen Forschung noch ein weites Feld.

### 3. Die Störungen der Kontraktilität.

Wenn man von Störungen der Kontraktilität spricht, meint man nicht die gewöhnliche Herzschwäche, sondern eine ganz bestimmte, vor allem

den Störung sind die Meinungen noch geteilt. Man nimmt jetzt gewöhnlich an, daß sich bei den schwächeren Kontraktionen ein Teil der Muskelfasern nicht mit zusammenzieht, weil sich die Kontraktilität während der Herzpause nicht in allen Muskelfasern gleich schnell erholt. Daß dies vorkommt, sieht man sehr schön am Froschherzen, wo beim Alternans ein größerer Herzteil, meist die Herzspitze, bei jedem zweiten Schlage in Ruhe bleibt. Es ist auch möglich, daß alle Muskelfasern bei jedem zweiten Schlage schwächer arbeiten. Ein alternierender Puls kann aber, worauf neuerdings Wenckebach hinweist, auch ein einfaches Pulsphänomen sein und auf geringen alternierenden Unterschieden in der Länge der Herzpause beruhen; es wird dann infolge der wechselnden Füllung und des wechselnden Widerstandes in den großen Arterien ab-

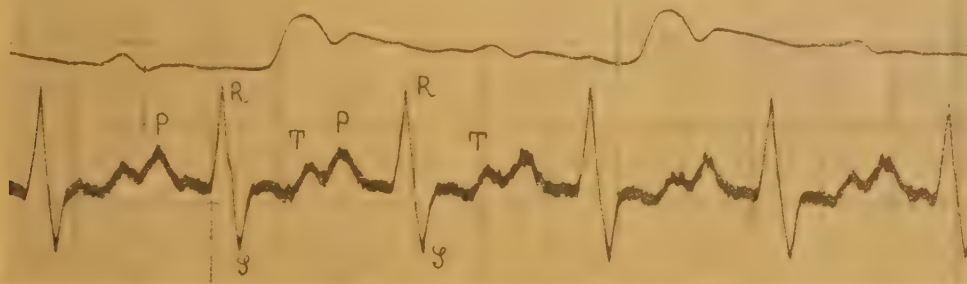


Fig. 18. Alternans, Mensch. Karotispuls und Elektrokardiogramm. Nach Kahn.

am Puls und am Herzstoß zutage tretende Störung, die man als *alternierende Herztätigkeit* oder als *Herzalternans* bezeichnet. Man versteht darunter das regelmäßige Abwechseln stärkerer und schwächerer Schläge, wobei aber der kleine Schlag nicht vorzeitig ist; denn in diesem Falle handelt es sich fast immer um Extrasystolen, die ganz ähnliche Pulsbilder geben können („Pseudo-Alternans“). Beim richtigen Alternans kommt der kleine Schlag rechtzeitig oder eher etwas später. Die Abschwächung jedes zweiten Herzschlages kann so weit gehen, daß bei diesem kein Blut gefördert wird, und daher jeder zweite Puls ausbleibt, so daß nur halb so viel Pulse gefühlt werden als Herzschläge und eine scheinbare Bradykardie entsteht. Es ist nun interessant, daß das Ekg auch bei den kleinen Schlägen meist genau dieselbe Form hat wie bei den großen. Man muß also annehmen, daß die Reizausbreitung bei den kleinen Schlägen ebenso erfolgt wie bei den großen und daß die Ursache der alternierenden Herztätigkeit in den Muskelfasern liegt. Die Fig. 18 zeigt eine vom Menschen gewonnene Kurve; man sieht zwei große und drei sehr kleine Pulse, die von der Halsschlagader aufgenommen worden sind. Die zugehörigen Elektrokardiogramme zeigen keinen Unterschied.

Über die Art der in den Muskelfasern liegen-

wechselnd mehr und weniger Blut ausgeworfen, so daß größere und kleinere Pulse entstehen. Auf diese Weise kann sicher ein vorübergehender Alternans entstehen, aber allgemeingültig ist diese Erklärung nicht, denn auch an überlebenden Herzen, die überhaupt kein Blut auszuwerfen brauchen, ja selbst an ausgeschnittenen Herzmuskelstücken, kommt eine alternierende Tätigkeit vor.

Auch beim Menschen findet man den Alternans, zunächst nicht selten nach Extrasystolen, wahrscheinlich als reines Pulsphänomen. Die nach der kompensatorischen Pause auftretende Kontraktion ist sehr stark, die nächste macht einen viel kleineren Puls, weil eben die vorhergehende viel Blut ausgeworfen hatte, dann kommt wieder eine etwas größere usw. Dieser Alternans gleicht sich aber meist nach wenigen Schlägen aus und hat wohl keine ernstere Bedeutung. Anders ist es mit dem bei regelmäßiger Herztätigkeit auftretenden Alternans, wie er besonders bei geschwächten Herzen beobachtet wird; da ist sein Auftreten ein sehr ernstes Zeichen einer weit vorgeschrittenen Erschöpfung des Herzmuskels und meist der Anfang vom Ende. Man sieht, wie wichtig es ist, in solchen Fällen den Alternans von ganz bedeutungslosen Extrasystolen (Bigeminie) zu unterscheiden.

## 4. Der Herztod.

Obwohl der Herztod nicht zur unregelmäßigen Herztätigkeit gehört, dürfte es doch von Interesse sein, die verschiedenen Ursachen des plötzlichen Herzstillstandes zu besprechen, einerseits weil der „Herzschlag“ so oft vorkommt und andererseits, weil seine Ursache in letzter Linie doch auf dieselben Vorgänge zurückzuführen ist, die, wenn sie weniger ausgesprochen sind, zu den verschiedenen Formen der Arrhythmie Veranlassung geben.

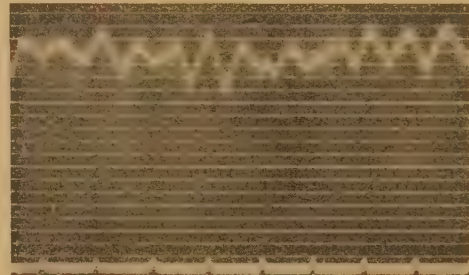
Wenn wir auch hier wieder der früheren Einteilung folgen, so kommen zuerst die *Störungen der Reizbildung* in Frage. Gehäufte Extrasystolen können, wenn sie in langen Reihen und in kurzen Zwischenräumen aufeinanderfolgen, die Blutförderung so stark beeinträchtigen, daß Ohnmacht, Krämpfe usw. eintreten, aber zum Tode führen sie kaum. Wenn aber die Reizbildung noch mehr zunimmt, entsteht eine dem Vorhofflimmern ganz analoge Störung, das *Kammer-*

wegungen träger und die elektrischen Wellen größer.

Es gibt einzelne Tierarten (Ratten, Kaninchen, Katzen), bei denen auch das Kammerflimmern sowie das Vorhofflimmern anfallsweise auftreten und wieder vorübergehen kann, worauf sich der Kreislauf wieder herstellt. Bei anderen Tieren, besonders beim Hunde, hört das Kammerflimmern nicht mehr auf und führt immer zum Tode; beim Menschen ist es wahrscheinlich ebenso. Es entsteht meist dadurch, daß bei Menschen, die Vorhofflimmern haben, dieses auf die Kammern übergreift. Solche Kranke können z. B. morgens ganz wohl aufwachen, sie setzen sich im Bett auf, um zu frühstücken, und fallen tot in die Kissen zurück. In anderen Fällen entsteht das Kammerflimmern durch den plötzlichen Verschluß eines der Kranzgefäße, das sind die Schlagadern, die den Herzmuskel (nicht die Herzhöhlen) mit Blut versorgen. Wenn eine solche Arterie verkalkt



a



b

Fig. 19. Kammerflimmern beim Hund.  
Gleich nach mechanischer Auslösung. Später. Zeit in fünfteil Sekunden.

*flimmern*. Dieses führt zur plötzlichen Unterbrechung des Kreislaufs und zum Tode. Das Kammerflimmern ist in seiner Erscheinung dem Vorhofflimmern sehr ähnlich; die Kammern hören auf, sich rhythmisch zusammenzuziehen, ihre Wand zeigt wühlende Bewegungen, die kein Blut auszuwerfen vermögen, und das Herz erweitert sich rasch, weil Blut zuströmt, das nicht mehr ausgeworfen wird. Da infolgedessen auch die Speisung des Herzmuskels selbst unterbrochen wird, erstickt dieser bald, was man an der rasch zunehmenden Blaufärbung des Herzens erkennt. Die im Elektrokardiogramm beim Kammerflimmern auftretenden Erscheinungen sind sehr charakteristisch (Fig. 19). Von den Zacken des normalen Ekg ist nichts mehr zu sehen, an ihre Stelle sind mehr oder weniger unregelmäßige Wellen getreten, die als Ausdruck der wühlenden Bewegungen, ganz ähnlich wie die Saitenunruhe beim Vorhofflimmern, ohne Unterbrechung aufeinanderfolgen. Die Frequenz dieser Wellen ist gleich im Beginn des Flimmerns größer, das Flimmern ist lebhafter, später, bei fortschreitender Erstickung des Herzmuskels, werden die Be-

und verengt ist oder plötzlich verstopft wird, bekommt ein größerer oder kleinerer Teil des Herzmuskels mit einmal kein Blut mehr, es entstehen dann immer zahlreichere Extrasystolen, die von dem blutleeren Muskelbezirk ausgehen, und schließlich kommt es zu Kammerflimmern und zum Tode. Bei Tieren kann man diese Erscheinungen immer erzeugen, wenn man eines von diesen Gefäßen unterbindet. Das ist wahrscheinlich das, was man gewöhnlich als Herzschlag bezeichnet. Beim Menschen äußert sich der Verschluß einer solchen Arterie entweder in den die Angina pectoris kennzeichnenden sehr heftigen, mit dem Gefühl des bevorstehenden Todes einhergehenden Schmerzen in der Brust, wobei die Zeichen der Herzschwäche immer mehr zunehmen, oder aber der Mensch bricht lautlos und ohne eine Miene zu verziehen, plötzlich tot zusammen. Derartige plötzliche Todesfälle sind besonders nach Mahlzeiten nicht selten.

Auch die bei leichter Chloroformnarkose hier und da auftretenden plötzlichen Todesfälle kommen durch Kammerflimmern zustande. Meist



handelt es sich um aufgeregte Menschen oder um sehr schmerzhaft eingriffe bei unvollständiger Betäubung. Denn das Merkwürdige ist, daß solche Todesfälle bei ganz leichter Narkose gleich in deren Beginn auftreten, wo man unmöglich annehmen kann, daß zu viel Chloroform gegeben worden ist. Die Narkose hat eben erst begonnen und mit einemmal tritt der Tod ein. Dies läßt sich auch bei Katzen experimentell erzeugen, wenn man sie mit etwa 0,5 % Chloroform narkotisiert, bei tieferer Narkose (2 %) aber nicht mehr. Das tödliche Kammerflimmern entsteht dann auf dem Umwege über die Herznerven; im Experiment kann man durch Reizung der Herznerven oft Kammerflimmern erzeugen.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß heftige seelische Erschütterungen, Aufregung, Angst oder Schreck auch beim Menschen zu Kammerflimmern und zu plötzlichem Tode führen können. Es ist interessant, daß dies bei Katzen vorkommt, wie ein Jagderlebnis zeigt, welches *Schillings* in seinem Werke „Mit Blitzlicht und Büchse“ sehr anschaulich beschreibt:

*Schillings* war es gelungen, einen Löwen mit Ausnahme einiger Hautabschürfungen unverletzt im Teller-eisen zu fangen. Es wurde versucht, das mächtige Tier mittelst ausgeprobt starker Kette und einem eigens verfertigten dreifachen Halsbande zu fesseln, was schließlich gelang, nachdem Kopf und Tatzen mit starken Stricken gebunden waren. Von der Falle befreit und an einen Baumstamm gebunden, wurde der Gefangene ins Lager gebracht. Die Fesselungsversuche hatten furchtbare Wutanfälle des Löwen zur Folge, „ohne Unterlaß grollte das mächtige Organ, bald dumpf röhrend, bald plötzlich wieder anschwellend, der Gesichtsausdruck, der ausdrucksvolle Kopf zeigten höchste Wut und warnen zu größter Vorsicht!“ Auf dem Transporte verendete der Löwe urplötzlich, „wahrscheinlich am Herzschlage. Bei der Sektion wurde wenigstens keine Verletzung irgendwelcher Art gefunden“.

Es kann wohl nicht zweifelhaft sein, daß dieses Tier an Herzkammerflimmern infolge der starken Erregung gestorben ist. Daß man bei der Sektion keine Veränderungen fand, ist natürlich; das Flimmern hat bis dahin längst aufgehört, und auch beim Menschen wird man bei vielen sogenannten negativen Obduktionsbefunden nach plötzlichem Tode an Herzkammerflimmern zu denken haben.

Auch *Störungen der Reizleitung* können zu plötzlichem Tode führen, und zwar dann, wenn die Leitung zwischen den Vorhöfen und den Kammern plötzlich unterbrochen wird und die Kammern zu lange brauchen, bevor sie mit einem Ersatzreiz fertig sind, so daß der Herzmuskel mittlerweile erstickt. Bei der Adams-Stokesschen Krankheit des Menschen tritt gewöhnlich keine Erholung mehr ein, wenn der Stillstand 90–120" gedauert hat. Der Tod ist dann ein plötzlicher, er erfolgt in dem Augenblick, wo die Leitung unterbrochen wird. Ich habe dies beim Tiere einigemale gesehen, wenn ich das Hissche Übergangsbündel durchschnitt.

Da ließ sich aber der Eintritt des Todes verhindern, wenn die künstliche Atmung weiterging und man das Herz so lange rhythmisch durch Berühren zu Extrasystolen veranlaßte, bis die Automatie der Kammern erwachte. Man sieht daraus, daß der Herzstillstand nicht auf einer mangelhaften Kontraktilität beruht, sondern es fehlt eben nur der Reiz. Auch beim Menschen könnte man den Tod auf diese Weise vielleicht verhindern, und es ist empfohlen worden, bei gar zu langen Stillständen des Herzens kräftig auf die Brust zu schlagen, um Kontraktionen auszulösen. Es liegt aber in der Natur der Erkrankung, daß man beim Menschen wohl nur selten auf diese Art Erfolg haben wird.

Was nun die letzte Möglichkeit anlangt, so brauche ich wohl nur darauf hinzuweisen, daß eine fortschreitende Abnahme der Kontraktionskraft des Herzens schließlich dem Leben ein Ende machen muß. So kommt der Tod bei der Herzschwäche zustande, wo der Herzschlag bis zum Ende regelmäßig sein kann.

## Die physikalisch-chemische Theorie der Reizung.

Von P. Lasareff, Moskau.

Eines der interessantesten Probleme der Biophysik ist die Frage nach der Ursache des Übergangs des lebenden Gewebes aus dem passiven in den aktiven Zustand, aus der Ruhe in den Zustand der Erregung. Bei dem Studium des Überganges zum aktiven Zustand des unbefruchteten Eies der niederen Tiere (Seeigel, Seestern, Annelide usw.) zeigte *Loeb*<sup>1)</sup>, daß dieser Übergang durch Salzionen, die dem Ei von außen zugeführt werden, hervorgerufen werden, und daß die Teilung des Eies bei passender Konzentration der Ionen bis zur Bildung der Larven fortschreiten kann. Auch am Nerv und am Muskel konnte *Loeb*<sup>2)</sup> den Einfluß der Ionen auf die Erregung experimentell feststellen, und es erwies sich dabei, daß die einen Ionen (Ionen des K, Na) eine erregende, die anderen (Ionen des Ca, Mg) eine hemmende Wirkung haben. Zur selben Zeit wie *Loeb* konnte *Nernst*<sup>3)</sup>, auf rein theoretischen Vorstellungen fußend, die mathematischen Grundgesetze für die Erregung der Muskeln und Nerven durch elektrischen Strom aufstellen. Er ging von der Annahme aus, daß in den Geweben ein Ion vorhanden sei, das die Erregung hervorruft, und daß die Konzentration des Ions, die einen bestimmten Schwellenwert erreicht, die Erregung hervorruft,

<sup>1)</sup> J. Loeb, Untersuchungen zur künstlichen Parthenogenese, 1906; J. Loeb, Die chemische Entwicklungserregung des tierischen Eies, Berlin 1909.

<sup>2)</sup> J. Loeb, Vorlesungen über die Dynamik der Lebenserschein., S. 112, Leipzig 1906, Pflügers Archiv 116, S. 198, 1907.

<sup>3)</sup> W. Nernst, Gött. Nachr. Math.-phys. Kl., S. 104, 1899, Pflügers Archiv 122, S. 276.

Diese grundlegenden Tatsachen waren für uns der Ausgangspunkt für die Entwicklung einer allgemeinen Theorie der Erregung<sup>4)</sup>.

Von der Vorstellung über die Veränderung des Aggregatzustandes der Eiweißlösung, aus der das Protoplasma besteht, ausgehend und indem wir annehmen, daß die einen Ionen auf diese Lösung in dem einen, die anderen in dem umgekehrten Sinne einwirken können, stellten wir das Grundgesetz der Erregung auf, in dem die Gesetze von *Loeb* und *Nernst* als Sonderfälle enthalten sind. Im folgenden wollen wir die von unserem Laboratorium gewonnenen Resultate wiedergeben.

Wenn wir mit  $C_1$  die Konzentration der erregenden Ionen, mit  $C_2$  die Konzentration der hemmenden und mit  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$  die Konstanten bezeichnen, so erhalten wir:

$$\frac{\sum \alpha_1 C_1}{\alpha_0 + \sum \alpha_2 C_2} = K = \text{Konst.} \dots (I)$$

Das Summenzeichen  $\Sigma$  umfaßt alle Ionen. Dies ist das Grundgesetz der Erregung für die Erregungsschwelle.

Man kann leicht beweisen (wie wir es auch in einer ganzen Reihe von Untersuchungen getan haben), daß dieses Gesetz für alle möglichen Reize gilt. Abgesehen von den elektrischen Reizungen der Nerven und Muskeln, deren von *Nernst* festgestellte Gesetze sich einfach aus der Formel (I) ableiten lassen, lassen sich auch alle Erscheinungen des peripheren Sehens gut erklären. Man muß hierzu die Annahme machen, daß man es mit einer zweifachen Reaktion zu tun hat: 1. einer photochemischen, die einen reizenden Stoff erzeugt, der der Menge der absorbierten Energie proportional ist, und 2. einer Reaktion, die in der Wiederherstellung des lichtempfindlichen Pigments — des Sehpurpurs — besteht. Diese zweite Reaktion ist gegen Einwirkung des Lichtes in dem Sinne empfindlich, daß das Licht auf die Bewegung des Pigments in den Pigmentzellen  $Z$  (Fig. 1), die die äußeren Glieder  $a$  des Stäbchens  $S$  umgeben, einwirken kann und die Geschwindigkeit der Wiederherstellung des Sehpurpurs verändert. Das Experiment zwingt

zum Schlusse, daß die Bewegung des Pigments im Lichte zu den Enden  $b$  der Stäbchen  $S$  hin (Fig. 1A, schematisch gezeichnet) die Geschwindigkeit der Wiederherstellung des Pigments herabsetzt, die Bewegung zur Basis der Pigmentzellen hin (Fig. 1B) diesen Prozeß beschleunigt. Dieser Umstand hat die Bedeutung einer zielbewußten Anpassung, denn die Wiederherstellung des Pigments bei starker Belichtung würde eine unnütze Arbeit derjenigen Zellen hervorrufen, die das im Lichte schnell zerfallende Pigment regenerieren. Demgegenüber ist die Regeneration bei schwachem Lichte durchaus notwendig und für das Sehvermögen zweckentsprechend, da ohne diese Regeneration das Auge nicht sehen könnte.

Auf diesen Vorstellungen fußend kann man leicht die ganze Theorie des Dunkelsehens mathematisch entwickeln, welche vollauf durch die Beobachtungen bestätigt wird. Alle Erscheinungen bei kurzer und bei langer Belichtung, alle Erscheinungen der Adaptation des Auges und endlich die Gesetze der Verschmelzung der Eindrücke (das Talbottsche Gesetz und andere

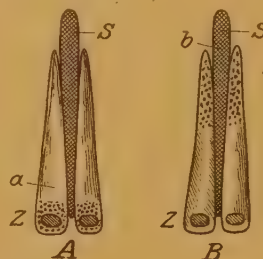


Fig. 1. Zur Erklärung des peripheren Sehens. Z Pigmentzellen, S Stäbchen.

Gesetze) können leicht aus der Theorie abgeleitet werden. Um zu zeigen, wie weit die Theorie mit dem Experiment übereinstimmt, wollen wir nur ein Beispiel anführen, und zwar aus der Theorie der Verschmelzung der Eindrücke bei flimmerndem Lichte. Diese Verschmelzung hängt ab vom Grade der Adaptation des Auges für die Dunkelheit (nachdem es in hellem Lichte gewesen ist) und außerdem von der Farbe des Strahles und von der Helligkeit des Lichtes. Der Theorie nach muß dabei der Ausdruck:

$$\frac{(N - N_0) \sqrt{4\pi^2 N^2 + \alpha_2^2}}{k J (1 - e^{-\alpha_3 T})}$$

— wir bezeichnen ihn kurz mit  $M$  — konstant bleiben.

Hier ist  $N$  die Zahl der Änderungen der Lichtintensität bei Verschmelzung der Eindrücke,  $N_0$  dieselbe Zahl auf der Reizschwelle,  $\alpha_2$  und  $\alpha_3$  die Konstanten der Reaktion der Purpurregeneration im Lichte ( $\alpha_2$ ) und im Dunkeln ( $\alpha_3$ ),  $k$  die Absorptionskonstante,  $J$  die Intensität des Lichtes. Und die Experimente, von denen es hier nur erwähnt sei, daß sie die Größe  $N, J$  und  $T$  gleichzeitig zu messen gestatten, zeigen, daß  $M$  bei verschiedenen Werten von  $k$ ,

<sup>4)</sup> P. Lasareff, Pflügers Archiv 135, S. 197, 1910; 154, S. 464, 1913; 155, S. 310, 1914; 193, S. 1, 1921; 193, S. 231, 1922; 194, S. 293, 1922.

Unsere weiteren Untersuchungen über die Theorie der Reizung sowie die experimentellen Arbeiten unserer Mitarbeiter findet man in Bulletin de l'Académie des Sciences de Petrograd 1918, 1919, 1920, in den Berichten des Physikal. Instituts des Wissenschaftl. Instituts zu Moskau 1919, 1920, 1921, 1922, in Archives des Sciences physiques Moscou 1918. Zusammenfassende Darstellungen geben die Monographien P. Lasareff, Untersuchungen über die Iontheorie der Reizung (russisch), Moskau 1916, P. Lasareff, Recherches sur la théorie ionique de l'excitation, Moscou 1918, P. Lasareff, Physikalisch-chemische Theorie der Nerventätigkeit (russisch), Moskau 1922.



$J$ ,  $T$ ,  $N$  tatsächlich nur zwischen 0,42 und 0,43 schwankt, was im Bereiche der Fehlergrenzen der Beobachtungen liegt. Wenn an einer Stelle der Netzhaut ein Zerfall des Stoffes stattfindet, welcher die Konzentration der Ionen verändert, wie man es bei photochemischen Reaktionen beobachtet, so entsteht zwischen den belichteten und den unbelichteten Stellen der Netzhaut eine elektromotorische Kraft, deren Größenveränderung, nach der Theorie berechnet, gut mit den Beobachtungen übereinstimmt.

Wir müssen noch auf eine Folgerung der Theorie hinweisen, und zwar auf die Einwirkung einiger Medikamente aufs Auge, eine Folgerung, die sich ebenso durch das Experiment bestätigt. Nach der Theorie ist die Konzentration der Ionen in den sensiblen Apparaten der Nerven das Resultat zweier Vorgänge: der eine Vorgang ist ein photochemischer und vergrößert die Konzentration der reizenden Ionen, der andere ist der Regenerationsprozeß. Der erste Vorgang, der nur vom Vorhandensein des sensiblen Pigments abhängt, ist von der Blutfüllung des Auges unabhängig, der zweite aber muß sich mit der Blutfüllung in hohem Maße verändern. Und in der Tat rufen die gefäßerweiternden Mittel eine Verminderung der Empfindlichkeit des Auges hervor. Dieselbe Wirkung kann man auch im Gehörorgan, wie es die Theorie verlangt, beobachten.

Von analogen Vorstellungen über die photochemische Natur des Sehens ausgehend, konnte man die Theorie der Farbenempfindlichkeit im Zentrum der Netzhaut (fovea centralis) entwickeln. Vor allem entsteht die Frage, ob es möglich ist, die Existenz zweier Theorien der Farbenempfindlichkeit — die von *Hering* und die von *Helmholtz* — anzunehmen. Ohne diese Theorien mathematisch zu formulieren, können wir sagen, daß beide die Notwendigkeit einer Existenz dreier primärer Empfindungen im Auge verlangen, und die verschiedene Intensität dieser primären Empfindungen gibt uns die Vorstellung von der Farbe. Nach *Hering* haben wir zwei entgegengesetzte Prozesse, die sich in den drei Stoffen abspielen. Einer von ihnen, der Prozeß der Dissimilation (D-Prozeß), führt zur Zersetzung des farbenempfindlichen Stoffes durch die Strahlen des Spektrums, der andere, umgekehrte, besteht in der Regeneration des primären Stoffes (A-Prozeß); dieser Prozeß verläuft im Dunkeln oder unter Einwirkung der Strahlen des Spektrums.

Um alle Fälle von Farbmischungen und die einzelnen Gesetze der Farbenempfindung zu erklären, nimmt *Hering* an, daß der eine Stoff von allen Strahlen des Spektrums zersetzt wird und dabei die Empfindung des weißen Lichtes, und daß die Regeneration des Stoffes die Empfindung der schwarzen Farbe hervorruft. Der andere Stoff wird vornehmlich von roten Strahlen zersetzt und von grünen regeneriert, und der dritte

von gelben zersetzt und von blauen regeneriert. Mathematisch ausgedrückt, wie wir es getan haben, ergibt diese Theorie eine Reihe von unüberwindlichen Widersprüchen dem Experiment gegenüber, und wir müssen daher untersuchen, ob die Farbenempfindungen sich durch die *Helmholtz*sche Theorie erklären lassen.

Diese Theorie nimmt an, daß es drei Arten von Nerven gibt, auf deren Endigungen alle Lichtstrahlen einwirken, aber die eine Kategorie der Nerven wird hauptsächlich von grünen Strahlen gereizt, die übrigen Strahlen wirken schwächer, die andere Kategorie wird von Strahlen, die näher zum roten Teil des Spektrums liegen, gereizt, und die dritte von Strahlen, die näher zum violetten Teil liegen. Bei Einwirkung aller Strahlen des Spektrums gleichzeitig, wobei alle drei Arten der Nerven gereizt werden, entsteht die Empfindung des weißen Lichtes, ebenso entsteht die Empfindung des weißen Lichtes bei Einwirkung der Komplementärstrahlen. Wir können der Theorie von *Helmholtz* genügen, wenn wir annehmen, daß es drei Arten von Stoffen gibt, die photochemisch sensibel sind, unter der Wirkung des Lichtes sich zersetzen können und dabei ionisierte Produkte erzeugen, welche auf die Nerven reizend einwirken können. Hierbei muß die Einwirkung aller Strahlen des Spektrums eine Zersetzung hervorrufen, die von der Empfindung des weißen Lichtes begleitet wird.

Allen diesen Forderungen kann durch eine unendliche Auswahl von Zersetzungskurven genügt werden. Wir wollen als Beispiel folgende Zahlen geben. Je nach der Länge der Welle  $\lambda$  läßt sich die Zersetzung der drei Pigmente folgendermaßen ausdrücken:

| $\lambda \mu\mu$   | 400  | 420 | 464 | 492 | 510 | 567 | 656 |
|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Konzentration der Zersetzungsprodukte, die aus dem Pigment entstehen | $\left\{ \begin{array}{l} R \dots 0,2 \quad 0,1 \quad 0,3 \quad 5,0 \quad 9,0 \quad 9,7 \quad 5,0 \\ G \dots 0,2 \quad 0,5 \quad 3,5 \quad 9,0 \quad 15,0 \quad 6,5 \quad 1,0 \\ V \dots 2,1 \quad 3,0 \quad 6,3 \quad 9,8 \quad 15,8 \quad 3,7 \quad 0,2 \end{array} \right.$ |     |     |     |     |     |     |

$R$  ist die Konzentration der Zersetzungsprodukte, welche aus dem Pigment entstehen, das empfindlich ist gegen rot,  $G$  gegen grün,  $V$  gegen violett. Die Einwirkung aller Spektrumsstrahlen gibt, wie eine einfache Berechnung zeigt, in allen drei Pigmenten eine gleiche Zersetzung, und folglich erhalten wir den Eindruck von weißem Lichte. Die Komplementärstrahlen, z. B.  $\lambda_1 = 464 \mu\mu$ , und  $\lambda_2 = 567 \mu\mu$  oder  $\lambda_1 = 492 \mu\mu$  und  $\lambda_2 = 656 \mu\mu$  geben auch gleiche Zersetzung und folglich auch Empfindung des weißen Lichtes. Wenn man in Betracht zieht, daß außerdem die Maxima für die Zersetzung des Pigments in dem grünpigmentlichen Farbstoff  $G$  im Grün und dann näher zum roten ( $R$ -Pigment) und näher zum violetten ( $V$ -Pigment) liegen, so müssen wir anerkennen, daß die respektiven Pigmente deren Zersetzung durch die Größen  $R$ ,  $G$ ,  $V$  ausgedrückt sind, einige von den möglichen Zer-

setzungskurven, die wir auswählen könnten, repräsentieren.

Wir wollen die bei der Zersetzung aller drei Pigmente gemeinsame Komponente  $a$  nennen und bezeichnen dann  $R = a$ ,  $G = a + b$  und  $V = a + c$ . Nehmen wir, auf diesen Betrachtungen fußend, weiterhin an, daß die erwähnte Komponente  $a$  bei der gleichzeitigen Zersetzung aller 3 Pigmente den Eindruck der weißen Farbe gibt, und das Verhältnis der Zersetzungen

$$\frac{c}{b} = F_1 = \frac{V - R}{G - R} \text{ für den grünoioletten Teil des}$$

Spektrums die Farbe des Strahles bestimmt, so können wir die Farbigkeit für den roten Teil des Spektrums durch  $F_2 = \frac{R - V}{G - V}$  und für die

Purpurfarbe durch  $F_3 = \frac{V - G}{R - G}$  bestimmen.

Von diesen Tatsachen ausgehend, können wir alle Gesetze der Farbenmischung quantitativ ableiten, die, wie unsere Untersuchungen zeigen, sehr gut mit dem Experiment übereinstimmen, wie es ein Beispiel aus zahlreichem Material zeigen kann. Bei den komplementären Farben, die nach der Theorie Wellenlänge  $\lambda = 656$  und  $\lambda = 492$  haben müssen, zeigen sich die aus Experiment gefundenen entsprechenden Zahlen wie  $\lambda = 656,2$  und  $\lambda = 492,1$ . Außerdem gestattet die Theorie in vollem Maße die Lehre von der Verschmelzung der Flimmerungen in Abhängigkeit von der Intensität des Lichtes, die Lehre von der Irradiation vom Talbotschen Gesetze zu entwickeln.

Eine weitere Anwendung der Theorie sind die *Gehörsempfindungen*, wo wir annehmen, daß zwischen dem rein mechanischen Schwingungsprozeß, der von *Helmholtz* in den Fasern des Cortischen Organes angenommen wird, und der Reizung der Nervenendigungen noch ein chemischer Prozeß eingeschaltet ist, welcher Ionen produziert und in einem besonderen sensiblen Stoffe entsteht, der in den Haarzellen des Cortischen Organes eingeschlossen ist.

Die Haarzellen  $A$  (Fig. 2, schematisch), welche mit den Cortischen Fasern  $K, K$  verbunden sind — die selber auf Töne verschiedener Höhe abgestimmt sind —, werden in Schwingung versetzt. In den Zellen  $A$  ist ein den Erschütterungen gegenüber sensibler Stoff vorhanden, welcher während der Zersetzung Ionen produziert, die auf die Nervenendigungen  $N, N$  einwirken. Bei der Regeneration dieser Stoffe spielen wahrscheinlich die *Deiterschen Zellen*  $B$  eine Rolle, welche bei den Gehörsprozessen dieselbe Rolle spielen, wie die Zellen des Pigmentepithels in den Lichtprozessen bei dem Dunkelsehen. Man kann annehmen, daß der Zerfall des Stoffes in den Zellen bei ihren Schwingungen noch dadurch gesteigert wird, daß die Zellen mit ihren Haaren gegen die Membran

$MM$  anschlagen und dadurch eine stärkere Erschütterung hervorrufen.

Von solchen Vorstellungen ausgehend, und indem wir annehmen, daß die Reaktion monomolekular ist, kann man eine vollständige Theorie der Gehörsempfindungen entwickeln, bei denen es leicht ist, einen Adaptationsprozeß, analog demjenigen bei dem Sehen zu konstatieren, wobei diese Theorie sehr gut mit den Experimenten übereinstimmt.

Außerdem läßt sich die Sensibilität des Ohres den Tönen verschiedener Höhe gegenüber und die Veränderungen dieser Sensibilität mit der Änderung der Schwingungszahl des einwirkenden Tons sehr gut im Rahmen der Theorie unterbringen. Alle Besonderheiten in der Veränderung der Maxima, das Auftreten der komplementären Maxima können theoretisch abgeleitet werden.

Eine weitere Anwendung der Theorie ergibt sich für das *Geschmacksorgan*, wo die exakte Theorie und das Experiment eine vollkommene Übereinstimmung gezeigt haben, und wo auch eine Adaptation analog der für das Sehen

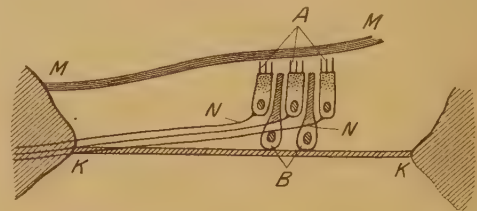


Fig. 2. Zur Theorie der Gehörsempfindungen.  $A$  Haarzellen des Cortischen Organes,  $N$  Nervenenden.

und Hören entdeckt wurde. Alles spricht dafür, daß wir in den Empfindungsvorgängen überall Apparate haben, die bei Einwirkungen des äußeren Mediums imstande sind, nervenreizende Stoffe (Ionen) zu produzieren, und von diesem Standpunkte aus ist der Mechanismus der Reizung der Nerven, die den verschiedenen Empfindungsorganen angehören, ein und derselbe. Es ist dabei interessant, daß die Energie, die zur Reizung der Empfindungsorgane des Auges und des Ohres nötig ist, von derselben Größenordnung ist.

Es bleibt uns jetzt nur noch übrig, die *Fortpflanzung der Erregung* längs der Faser, die Transmission im Nervensystem und die Arbeit der Zentra zu untersuchen. Die Fortpflanzung längs der Faser ist unserer Theorie nach ein Vorgang, der dem Prozesse der Explosion oder der Verbrennung des Pulvers analog ist, wobei dieser Prozeß, wenn er einmal begonnen hat, sich bis zum Ende fortsetzt. Somit kann die Nervenfasern nicht verschiedene Intensitäten der Erregung aufweisen. Entweder reagiert der Nerv auf den Reiz mit maximaler Stärke oder er reagiert überhaupt nicht (das Gesetz „alles oder nichts“). Aus diesen Vorstellungen kann die absolute Größe der Geschwindigkeit der Fort-



pflanzung der Erregung leicht abgeleitet werden, die zwischen 10 und 100 m/sec liegt. Der Temperaturkoeffizient der Fortpflanzungsgeschwindigkeit, der der Theorie nach = 1,8 ist, stimmt mit dem Experiment überein, soweit es die Fehlergrenzen gestatten. Es kann auch der Gang der Regeneration im Nerv nach Verlauf der Erregung berechnet werden, bei der Annahme, daß im Nerv zwei miteinander verbundene Reaktionen der Sensibilitätsregeneration vorhanden sind.

Dieser Gang ist in der nebenstehenden Tabelle wiedergegeben zugleich mit den experimentellen Angaben, die bei *Keith Lucas* entlehnt sind:

| Zeit vom Anfange<br>der Regeneration | Empfindlichkeit |           |
|--------------------------------------|-----------------|-----------|
|                                      | Beobachtet      | Berechnet |
| 0,002                                | 0,00            | 0,00      |
| 0,005                                | 0,58            | 0,58      |
| 0,008                                | 0,84            | 0,87      |
| 0,012                                | 1,00            | 1,03      |
| 0,016                                | 1,08            | 1,07      |
| 0,025                                | 1,04            | 1,05      |
| 0,030                                | 1,01            | 1,09      |

Die Transmission der Erregung von einem Neuron zum andern geschieht zwischen den Enden der Neuronen mittels Diffusion und die Theorie erlaubt es, die Entfernung zwischen den Neuronen zu berechnen. Diese Entfernung ist 20  $\mu$  und liegt jenseits des mikroskopischen Sehens, und die Neuronen müssen unter dem Mikroskop ineinander übergehend zu sehen sein, wie es *Bethe* auch beobachtet hat.

Die Reflexe und die von *Pawlow* entdeckten sogen. bedingten Reflexe lassen sich durch eine beständige oder temporäre Verbindung der Leitungsbahnen, vermittelt Einschaltung von Ionen zwischen den Enden der Neuronen erklären. Was die Tätigkeit der Zentra anbetrifft, so ist diese Tätigkeit, wie es die früheren Versuche (*Verworn*, *Kries* u. and.) zeigen und wie an einer Reihe von Zentren von uns bewiesen ist, eine periodische und folglich unserer Theorie nach mit der periodischen Veränderung der Ionenkonzentration verbunden. Solche Veränderungen können durch periodische chemische Reaktionen hervorgerufen werden und müssen, wie es auf Grund unserer Versuche angenommen werden kann, für jedes Zentrum eine eigene Periode haben.

Indem diese Reaktionen periodische elektromotorische Kräfte hervorrufen, die mit der Tätigkeit der Zentra verbunden sind, müssen sie die Ursache für die im umgebenden Medium entstehenden elektromagnetischen Wellen sein. Zurzeit stellt sich unser Laboratorium die Aufgabe, diese Wellen zu entdecken und zu untersuchen. Da die periodischen Reaktionen gegen die Einwirkung der periodischen elektromotorischen Kräfte empfindlich sind, so ist es klar, daß die Wellen, die von einem Zentrum infolge der

in ihm verlaufenden Reaktion ausgesandt werden, eine Reaktion in den Zentren eines anderen sich in der Nähe befindenden Individuums hervorrufen können, und auf diese Weise könnte eine Reihe von Suggestionenphänomenen eine wissenschaftliche Erklärung finden.

Indem wir diese Übersicht abschließen, möchten wir noch darauf hinweisen, daß die Ionentheorie der Reizung, die bis jetzt nur für Schwellenreize angewandt wurde, auch bei Überschwellenreizen angewandt werden kann, die von komplizierteren Gesetzen beherrscht werden. Für diese Fälle stellte *Fechner* als erster das Gesetz auf, nach dem die Zunahme der Empfindung

$\Delta E$  durch  $\Delta E = \frac{\Delta J}{J}$  ausgedrückt wird, wo  $J$  die Größe des äußeren Reizes (die Intensität des Lichtes, des Schattens usw.) ist.

Bei genauerer Revision ergab sich, daß dieses Gesetz für das Sehen nicht richtig ist, und es wurde zuerst von dem Gesetze *Fechners*:

$$\Delta E = \frac{\Delta J}{J + \alpha}$$

wo  $\alpha$  die Konstante ist, und später durch das Gesetz von *Helmholtz*:

$$\Delta E = \Delta J \int_0^a \frac{\varphi(\alpha) d\alpha}{J + \alpha}$$

ersetzt, wo  $J\alpha$  das Eigenlicht der Netzhaut ist, welches von den Prozessen in den Zapfen abhängt.  $\varphi(\alpha) d\alpha$  ist die Fläche, wo das Eigenlicht zwischen  $\alpha$  und  $\alpha + d\alpha$  schwankt. Wie unsere Untersuchungen<sup>5)</sup> gezeigt haben, ist diese Formel nur für das Zentrum der Netzhaut richtig. Noch kompliziertere Ausdrücke fanden wir für den Fall, wo das Feld an der Peripherie genommen wird.

Bei der Revision der Resultate kommt man zum Schluß, daß man schon von Anfang an nicht daran denken konnte, zwischen dem Zuwachs der Empfindung  $\Delta E$ , dem Zuwachs  $\Delta J$  und  $J$  ein einfaches Verhältnis zu finden, da die Empfindung  $\Delta E$  als ein Prozeß, der mit den Veränderungen in den Zellen der Gehirnrinde verbunden ist, nur indirekt von den äußeren Reizen  $J$  abhängen kann, und es ist viel einfacher, die Beziehung zwischen dem Reize, der sich in Form einer bestimmten Konzentration der Ionen  $C$  präsentierte und der Empfindung  $E$  zu suchen. Dieses Gesetz ist von uns in folgender Form wiedergegeben:

$$\Delta E = \sum_C \frac{\Delta C}{C} \dots \dots \dots (II)$$

wo die Summation  $\Sigma$  sich auf alle mitbeteiligten Ionen erstreckt (wenn die Ionen hemmen, so muß

<sup>5)</sup> *P. Lasareff*, Pflügers Archiv 142, S. 235, 1911; 150, S. 371, 1913, ZS. f. Sinnesphysiol. 48, S. 172, 1913, Bulletin de l'Académie des Sciences de Russie, S. 591, 1283, 1917. Weitere Arbeiten findet man in den Berichten des physikal. Instituts 1919, 1920, 1921, 1922.

man statt + das Zeichen — setzen). Dieses Gesetz genügt, wie es einfache Berechnungen zeigen, vollkommen für das Sehen, da es mit der Helmholtzschen Formel übereinstimmt; für das Gehör ergibt sich, wie es die Formel (II) verlangt, die Fechnersche Formel  $\Delta E = \frac{\Delta J}{J + \alpha}$ , und für den Geschmack haben wir die Helmholtzsche Formel. Die frühere Formulierung des Fechnerschen Gesetzes erlaubte es auch nicht einmal die Frage zu lösen, was eigentlich bei der elektrischen Reizung als Reiz anzusehen ist — die Stärke des Stromes  $i$  oder  $i^2$  (seine Energie). Indem wir die Formel (II) anwenden, finden wir, daß in dem Falle, wo  $i$  groß ist,  $\Delta E = \frac{\Delta i}{i}$  sein muß. Diese Formel ist an verschiedenen Subjekten genau bestätigt worden. Aus dem Gesetze (II) folgen endlich, wie wir es gezeigt haben, alle Gesetzmäßigkeiten und Gesetze der Reizung, die experimentell nachgeprüft sind, die Gesetze von *Loeb* und *Nernst* erscheinen als Einzelfälle der Grenzreizung.

In allen vorhergehenden Fällen wiesen wir auf die Ionen als auf die primäre Ursache der Veränderungen hin, die mit der Erregung in Verbindung stehen. Es ist aber möglich, noch allgemeinere Bedingungen aufzustellen, die die Theorien der Erregung mit der Theorie der Quanten verbinden, und dies ist zurzeit die Aufgabe unseres Laboratoriums.

### Die Stimulierung (Hebung) der Zellfunktionen und ihre landwirtschaftliche Bedeutung.

Ausgehend von theoretischen Erwägungen habe ich vor 8 Jahren den Schluß gezogen, daß die Agentien der künstlichen Befruchtung, der künstlichen Parthenogenese, nicht nur auf die reifen unbefruchteten weiblichen Geschlechtszellen, die Eier, entwicklungsfördernd einwirken, sondern daß sie dieselbe entwicklungsfördernde Wirkung auf alle Körperzellen, tierische wie pflanzliche, ausdehnen; mit anderen Worten die Agentien der künstlichen Parthenogenese, welche chemischer oder physikalischer Natur sein können, müssen allgemeine Zellstimulantien sein.

Um diese Schlußfolgerung zu begründen, habe ich in einer Reihe von Publikationen<sup>1)</sup> meine Unter-

suchungen über die stimulierende Wirkung der chemischen Agentien der künstlichen Parthenogenese sowohl auf schwer heilende Wunden, wie auch auf in Winterruhe sich befindende Pflanzen dargelegt. Es zeigte sich, daß, wenn man reine Wunden mit Magnesiumsalzen ( $MgCl_2$ ,  $MgCl_2 + NaCl$  usw.) behandelt, dieselben schneller heilen und sich schließen, als nach der Behandlung mit den gewöhnlichen bisher gebrauchten Wundheilmitteln. Auch auf pflanzliche Zellen erwiesen sich die Magnesiumsalze als sehr wirksam. Wenn die Knospen von sich in Winterruhe befindenden Pflanzen mit Magnesium<sup>2)</sup> und Mangansalzen in verschiedener Konzentration und verschiedener Zusammensetzung injiziert werden, so entwickelten sich Blüten- und Blattknospen in 2—3 Wochen fast vollständig, während die Kontrollen, unter gleichen Bedingungen, unentwickelt blieben.

Dieselben günstigen Resultate habe ich auch bei einzelligen Organismen, bei Infusorien, erzielt. Durch kurze Einwirkung von Magnesiumsalzen auf das weit-



Fig. 1. Die kleine Garbe ist die Kontrolle, die große die mit Mg- und Mn-Salzen stimulierte.

verbreitete Infusor *Paramecium* ist es mir gelungen, die Lebensfunktionen dieses einzelligen Tieres und folglich auch seine Vermehrungsgeschwindigkeit so sehr zu heben, daß z. B. in der Zeit von 7 Tagen, wo die von zwei Tieren ausgegangene Kontrolle nur 242 Tiere zählte, die ebenfalls aus zwei Geschwistertieren der Kontrolle angefangene, aber mit Magnesiumsalzen stimulierte Kultur nach 7 Tagen schon 2027 Tiere aufwies. Eine andere unter denselben Bedingungen angefangene, aber schwächer stimulierte

- 1) 1. Depression der Protozoenzelle und der Geschlechtszellen der Metazoen. Arch. f. Protistenkunde, Festband R. Hertwig, 1907.
2. Experimentelle Zellstudien I: Über die Teilung der Zelle. Archiv für Zellforschung Bd. I, 1908.
3. Experimentelle Zellstudien II: Über die Zellgröße, ihre Fixierung und Vererbung. Ebenda Bd. III, 1909.
4. Experimentelle Zellstudien III: Über einige Ursachen der physiologischen Depression der Zelle. Ebenda Bd. IV, 1909.
5. Experimentelle Zellstudien IV: Geschlechtsvorgänge, Parthenogenese und Zellenverjüngung. Ebenda Bd. XIV, 1915.
6. Über den Einfluß chemischer Reagentien auf

- den Funktionszustand der Zelle. Sitzungsber. d. Ges. f. Morph. u. Phys. in München 1909.
7. Über stimulierende Einwirkungen auf Zell- und Geweberegeneration. Deutsche Mediz. Wochenschrift 1915.
8. Künstliche Parthenogenese und Zellstimulantien. Biol. Centralblatt 1916.
9. Über die Behandlung atonischer Wunden mit Äther. Der Militärarzt 1916.
10. Über die Stimulierung der Zellfunktionen. Biol. Centralblatt 1922.
11. Stimulierung der geschwächten Zellfunktionen. Rektoratsrede 1920. Ausgabe d. Univ. Sofia.

2) Siehe darüber auch F. Weber.



Kultur zählte nach derselben Zeit 864 Tiere. Beachtenswert ist dabei, daß die Tiere der stimulierten Kultur durchweg um  $\frac{1}{5}$  größer als die normalen Kontrolltiere waren.

Alle diese Versuche beweisen, wie stark die stimulierende Wirkung der Magnesium- und Mangansalze auf die lebende Substanz ist.

Schon im Jahre 1915 habe ich weiterhin betont, daß diese die Lebensfunktionen so stark hebende Wirkung der Magnesium- und Mangansalze nicht nur eine große theoretische, sondern auch eine wichtige praktische Bedeutung gewinnen könnte, wenn sie auf in Funktionsruhe sich befindende pflanzliche Zellen, an erster Stelle Pflanzensamen, angewendet würde. Nach vielen Versuchen ist es mir nun seit zwei Jahren gelungen, durch Einwirkung auf Pflanzensamen mit Magnesium- und Mangansalzen allein oder in verschiedenen Kombinationen angewandt ( $MgCl_2 + MgSO_4$ ,  $MgCl_2 + Mn(NO_3)_2$ ,  $MgCl_2 + MnCl_2$ ,  $MgSO_4 + MnSO_4$ ) dieselben so stark zu stimulieren, daß sich Pflanzen



Fig. 2. Die mittleren Pflanzen sind aus Samen gezogen, die stimuliert wurden, rechts mit Mg- und Mn-Salzen, links mit Ätherdämpfen, an beiden Enden sind die Kontrollen ( $H_2O$ - und Flockensamen-Kontrolle).

entwickelten, welche durchschnittlich um  $1\frac{1}{2}$ - bis 2mal größer und schwerer als die normalen waren und, was noch wichtiger ist, auch den Ertrag derselben durchschnittlich um 40 bis 50 %, ja in besonders günstigen Fällen bis zu 70 % und 100 % zu heben (Fig. 1). Nach vielen Versuchen konnte die optimale Behandlungszeit der Samen von vielen Kulturpflanzen (sowohl Korn- wie Faserpflanzen) bestimmt werden, die je nach der Stärke der Samenhüllen zwischen einer Stunde bis zwölf und mehr Stunden schwankt und überall dieselbe Steigerung der Wachstumsintensität hervorruft.

Durch Kombination der oben erwähnten chemischen Lösungen mit einer nachträglichen kurzen Behandlung mit Ätherdämpfen oder durch schwache Ätherisierung der chemischen Lösungen ist es mir neuerdings gelungen, die Stimulation der Samen noch um ein Beträchtliches zu steigern. Eine beachtenswerte stimulierende Wirkung auf die Samenentwicklung zeigten auch die Ätherdämpfe, allein angewandt (Fig. 2). Diese Wirkung des Äthers steht im Einklang mit seinen bekannten Eigenschaften als pflanzenfrühtreibendes Mittel (Molisch, Johannsen u. a.).

Ich bin der Überzeugung, daß durch die Anwendung der hier angegebenen stimulierenden Mittel eine Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion in allen Zweigen erfolgen wird, um so mehr als die Anwendung leicht und der Preis der angegebenen chemischen Mittel

gering ist. Eine endgültige Bekräftigung dieser Hoffnungen werden voraussichtlich die großen Anpflanzungen, die in diesem Herbst mit den verschiedensten Samen von Kulturpflanzen vorgenommen werden, zeigen.

Methodi Popoff.

## Besprechungen<sup>1)</sup>.

Graetz, L., Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus. 5 Bände. Band III, Lieferung 3. IV, S. 351 bis 724 und 156 Abbildungen. Preis M. 64,— + Teuerungszuschlag. Band II, Lieferung 3. X, S. 473 bis 722 und 50 Abbildungen. Preis M. 57,— + Teuerungszuschlag. Leipzig, J. A. Barth, 1920 und 1921.

Die Lieferung 3 des dritten Bandes enthält als erstes Kapitel die Ionisation der Gase, bearbeitet von R. Seeliger. Der Inhalt umfaßt die unselbständige Leitung der Elektrizität durch Gase, bei der Ionen durch Energiezufuhr von außen gebildet werden. Zuerst werden die Konstanten der Ionen (Beweglichkeit, Wiedervereinigung, Diffusion, Adsorption, Ladung und Masse der Ionen) behandelt, darnach wird die Ionenströmung von der mathematischen Seite her analysiert, schließlich werden die Anschauungen über die physikalische Natur der Ionen, die noch manchen offenen Punkt aufweisen, im einzelnen diskutiert. Anhangsweise wird noch ein kurzer Abschnitt über die Ionenleitung in dielektrischen Flüssigkeiten gegeben.

Die Darstellung ist durchaus originell und wird besonders den auf dem Gebiet arbeitenden Physikern Genuß und Anregung geben. Seit den Büchern von J. J. Thomson und J. Stark aus den Jahren 1902 bis 1906 ist keine zusammenfassende Darstellung dieses Gebietes erschienen. Nur in dem im Jahr 1920 erschienenen ersten Bande des Handbuches der Radiologie von E. Marx wird die Ionisation der Gase von J. S. Townsend behandelt, konnte aber von R. Seeliger noch nicht berücksichtigt werden. Die Townsendsche Darstellung ist bereits 1914 druckfertig abgeschlossen gewesen und ist wesentlich von der vorliegenden Bearbeitung verschieden. Das Townsendsche Buch ist viel breiter angelegt, bringt auch die älteren Versuche ausführlich, enthält sich fast immer der Kritik und entbehrt infolgedessen eines einheitlichen Standpunktes. Die Bearbeitung von Seeliger setzt die älteren Arbeiten vor 1906 als bekannt voraus und entwickelt in möglichst geschlossener, an manchen Stellen sogar für ein Handbuch etwas knapper Form einen kritischen Standpunkt zur Ionenlehre, wie der Verfasser ihn aus den neueren Arbeiten gewinnt.

Ist so das Kapitel von Seeliger ein Muster einer intensiven Darstellungsweise, so sind die folgenden Abschnitte über Flammenleitung von A. Becker, über den Lichtbogen von E. Bräuer, über metallische Leitung von J. Koenigsberger Beispiele einer extensiven Behandlungsart, wie sie insbesondere für ein Handbuch erwünscht ist. Das Gebiet der Flammenleitung vor allem enthält noch so viele umstrittene Punkte, daß diese Darstellungsweise die einzig mögliche ist.

In dem Kapitel über Lichtbogen (E. Bräuer) wird neben einer Darstellung der physikalischen Verhältnisse auch eine Reihe von Anwendungen gebracht, so: Lichtbogenschwingungen, Anwendung als Frequenzwandler und Gleichrichter, Strahlung des Lichtbogens, Lichtbogen als Lichtquelle, als Wärmequelle, als chemisches Agens.

<sup>1)</sup> Die Preise der Bücher sind ohne Teuerungszuschläge eingesetzt.

Der Abschnitt über metallische Leitung von *J. Koenigsberger* lehnt sich an die Darstellung von *L. Graetz* in *Winkelmanns Handbuch der Physik* Bd. IV (1905, Literatur bis Ende 1902), ist aber wesentlich ausführlicher und hat demzufolge auch den dreifachen Umfang. Zur Orientierung sei die Disposition der einzelnen Kapitel dieses Abschnittes gegeben: Elektrizitätsleitung unter normalen Bedingungen und deren Temperaturabhängigkeit, Widerstandsänderung durch Belichtung, Widerstandsänderung durch Druck usw., Unterschied zwischen Gleichstrom- und Wechselstromwiderstand infolge der Kristallstruktur, Widerstandsänderung im Magnetfeld, Beziehungen der elektrischen zur thermischen Leitfähigkeit.

Die Lieferung 3 des zweiten Bandes enthält zuerst die Elektrolyse und elektrolytische Polarisierung von *G. von Hevesy*. Auch hier ist die Bearbeitung eine ausgesprochen extensive, z. B. vielfach in besonderen Kapiteln auf die geschichtliche Entwicklung der einzelnen Erscheinungen eingehend, aber gut disponiert und, soweit der Referent sehen konnte, sehr vollständig. Erst werden in 64 Kapiteln die Prinzipien der Elektrolyse (*Faradays Gesetze*, Polarisierung, Verhalten der Elemente bei kathodischer und anodischer Abscheidung, Elektroanalyse, elektrolytische Reduktion und Oxydation) behandelt, dann folgt in weiteren 26 Kapiteln das Verhalten der einzelnen Elemente und ihrer Verbindungen bei der Elektrolyse.

In gleichfalls guter Disposition präsentiert sich der weitere Abschnitt über die Akkumulatoren, der auch von *G. von Hevesy* bearbeitet ist. Neben der Theorie wird auch die Herstellung, Behandlung und Geschichte des Akkumulators gebracht. Auch der Edison-Akkumulator und andere finden ihre Berücksichtigung.

**Graetz, L., Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus.** 5. Bände. Band IV, Lieferung 3 (Schlußlieferung). Leipzig, J. A. Barth, 1920. X, S. 711 bis 1360 und 319 Abbildungen. Preis M. 84,— + T.

Lieferung 3 des IV. Bandes enthält von *F. Auerbach*: Magnetismus der verschiedenen Stoffe (Ferro-, Para- und Diamagnetismus usw.) als Fortsetzung zum Magnetismus im allgemeinen (Lieferung 1 des IV. Bandes), ferner Elektromagnetismus und Erdmagnetismus; außerdem eine Darstellung der Elektrodynamik von *H. Diesselhorst*.

Die Darstellung des Magnetismus von *F. Auerbach* ist ganz breit gehalten, strebt darnach, das vorliegende Material möglichst vollständig zu bringen, so daß auch die älteren Untersuchungen und Meßmethoden eingehend beschrieben werden. Soweit es sich um Gebiete handelt, bei denen die theoretische Deutung der Erscheinungen noch nicht einwandfrei feststeht, wie z. B. in dem Kapitel Magnetismus verschiedener Stoffe (mit den Abschnitten: Ferromagnetismus, Para- und Diamagnetismus fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe, Kristallmagnetismus, mechanische und thermische Einflüsse usw.) sowie auch beim Erdmagnetismus muß diese Darstellungsweise berechtigt erscheinen. Denn in diesem Falle soll ein Handbuch das vollständige Material bringen, auf das die sich weiter entwickelnde Theorie zurückgreifen kann. Etwas anders erscheint es mit Gebieten wie Elektromagnetismus. Hier liegen die theoretischen Grundlagen bereits fest, und es muß daher eine Darstellungsform vorteilhafter erscheinen, welche veraltete Sachen ausscheidet, den modernen Standpunkt aber mit Schärfe entwickelt, wodurch dann von selbst die immer wünschenswerte Raumbeschrän-

kung erzielt wird. Von diesem Gesichtspunkte aus können manche Abschnitte der Darstellung von *F. Auerbach* nicht befriedigen.

Ein Muster für eine konzentrierte, klare und umfassende Darstellungsweise bietet der Abschnitt von *A. Diesselhorst* über Elektrodynamik, welche im engeren Sinne als die Lehre von den bewegenden elektrischen Kräften aufgefaßt wird. Es werden nämlich 1. die ponderomotorischen Wirkungen in Systemen von Magneten und quasistationären elektrischen Strömen, 2. die ponderomotorischen Wirkungen des magnetischen Feldes und 3. die Systeme aus Magneten und elektrischen Strömen behandelt. Die eigenartige und in dieser Form wohl einzig dastehende Bearbeitung des Gebietes macht ausgiebigen Gebrauch von der Vektoranalyse, die auch die praktische Elektrotechnik bereits mit ausgezeichnetem Erfolge in die mathematische Behandlung des Gebietes eingeführt hat. Das Verständnis dieser Darstellungsweise wird in dankenswerter Weise vom Verfasser dadurch erleichtert, daß am Anfang eine recht ausführliche Zusammenstellung vektoranalytischer Formeln gebracht wird, wobei auch kurze Beweise gegeben werden. Diese Zusammenstellung füllt zwar etwa 60 Seiten aus, trägt aber wesentlich zu der Prägnanz und Ökonomie der nachfolgenden Darstellung bei. Das Ziel, das sich der Verfasser gesetzt hat, nämlich: das im wesentlichen abgeschlossene Gebiet in systematischer Weise so darzustellen, daß man sieht, auf welcher Grundlage das Gebäude errichtet ist, und mit welchen Mitteln es ausgeführt ist, hat er zweifellos erreicht. *E. Regener, Stuttgart.*

**Riecke, E., Lehrbuch der Physik.** Herausgegeben von *E. Lecher* (Wien). Sechste Auflage. 2. Band: Magnetismus und Elektrizität. Berlin, Vereinigung wissenschaftlicher Verleger, 1919. XIV, 636 S. und 306 Abbildungen. Preis geh. M. 28,—; geb. M. 33,— + Teuerungszuschlag.

Im zweiten Bande des von *Lecher* herausgegebenen Rieckeschen Lehrbuchs der Physik wird allein die Lehre vom Magnetismus und der Elektrizität behandelt. Die Begriffe Elektrizität und Magnetismus werden hier sehr weit gefaßt. So ist mehr als ein Fünftel des Buches den neuesten Lehren der Atomphysik gewidmet. Es werden hier die Erscheinungen der Röntgenstrahlen und der Röntgenspektroskopie, die Elektronentheorie mit ihren vielfachen Anwendungen, die Quantentheorie und die neuen Atommodelle neben der Lehre von den radioaktiven Erscheinungen erörtert.

Gegenüber der letzten Auflage sind vor allem auch in der Anordnung des Stoffes mannigfache Veränderungen vorgenommen worden. Nur die beiden ersten Teile (Magnetostatik und Elektrostatik) sind in der Hauptsache unverändert geblieben; jedoch hat durch kürzere Fassung der einzelnen Abschnitte die gesamte Darstellung an Klarheit gewonnen.

In dem dritten Teil werden unter dem Titel „Das Ohmsche Gesetz“ die elementaren Gesetze und Erscheinungen des elektrischen Stromes behandelt. Dadurch, daß diese Gesetze schon an dieser Stelle zusammenfassend zur Erörterung kommen, wird besonders für den Studierenden das Verständnis der nachfolgenden Abschnitte ganz wesentlich erleichtert.

In dem vierten und fünften Teil werden Elektrochemie und Thermoelektrizität behandelt. Dabei möchte ich unter dem Kapitel Elektrochemie den Abschnitt über Elektroosmose als besonders bemerkenswert hervorheben.

In der klassischen Elektrizitätslehre wird das Gebiet der Wechselwirkungen zwischen elektrischen Strö-



men untereinander und zwischen elektrischen Strömen und Magneten in vier Abteilungen behandelt. Die erste Abteilung behandelt die ponderomotorischen Wirkungen zwischen Strömen und Magneten und die magnetischen Wirkungen des elektrischen Stroms, die zweite Abteilung beschreibt die Erscheinungen der Magnetinduktion, die dritte erklärt die ponderomotorische Wirkung zweier Ströme aufeinander und die induktive Wirkung des elektrischen Stromes. Die vierte Abteilung bringt schließlich die Anwendungen der zuletzt genannten Erscheinungen in der Praxis, in der Starkstromtechnik. Diese vier Abteilungen, die ihrem Inhalt nach zusammengehören, waren in der früheren Auflage durch lange, andere Gebiete behandelnde Abschnitte voneinander getrennt; hier sind sie bedeutend enger zusammengezogen, wodurch man einen besseren Überblick über das gesamte Gebiet erhält. Aber auch in dieser Auflage finden sich zwischen den einzelnen obengenannten Abteilungen noch andere Gebiete ausführlich behandelt. So ist zwischen der oben genannten ersten und zweiten Abteilung ein großer Abschnitt über „Magnetismus verschiedener Substanzen“ eingeschoben. Es werden dort die wichtigsten Erscheinungen des Para- und Diamagnetismus und vor allem in einem sehr gut gelungenen Kapitel die statistisch-kinetische Theorie des Magnetismus nach *Weiß* und *Curie* behandelt. Ich möchte glauben, daß das Buch an Übersichtlichkeit noch bedeutend gewinnen würde, wenn dieser Abschnitt über Magnetismus an anderer Stelle des Buches seinen Platz fände.

Auf den Abschnitt über Starkstromtechnik folgt dann eine kurze Behandlung der elektromagnetischen Lichttheorie nebst einem etwas zu kurzen Abschnitt über elektrische Schwingungen und drahtlose Telegraphie.

Ein weiterer Abschnitt behandelt eingehend die Elektrizitätsleitung in Gasen.

Den Beschluß des Buches bilden die schon oben erwähnten Abschnitte über die neuere Atomphysik.

Das Buch vermeidet schwierige mathematische Ableitungen und bietet so neben einer klaren und umfassenden Elementardarstellung der wichtigsten Erscheinungen und Gesetze der klassischen Elektrizitätslehre auch einen wohl gelungenen Einblick in die Gedanken der modernen Physik der Atome. Es wird sowohl der Student sowie selbst derjenige, der seine Studien schon abgeschlossen hat, daraus reiche Belehrung und Anregung schöpfen können.

H. Kallmann, Berlin-Westend.

**Hegi, G., Illustrierte Flora von Mitteleuropa.** 40. u. 41. Lief., Bd. IV, 2 (1. u. 2. Lief.). München, J. F. Lehmann, 1922. Preis je Lief. M. 15,—.

Nach mehrjähriger Pause ist nunmehr das Weitererscheinen dieses trefflichen Werkes gesichert. (Vgl. Die Naturwissenschaften 8. Jahrg., Heft 3, 16. Jan. 1920, S. 56.) Die neuen Lieferungen enthalten die *Droseraceae*, *Crassulaceae* und den Anfang der *Saxifragaceae*. Jeder der auch im Text reich illustrierten Lieferungen sind zwei prächtige Farbentafeln (von F. Kozian, v. Hayek und Dunzinger) beigegeben. Die Ausstattung ist die gleiche gediegene wie früher. Mit Rücksicht auf die biologische Bedeutung der *Droseraceae* ist den einzelnen Gattungen eine eingehendere biologische Darstellung gewidmet, der neue, bisher nicht veröffentlichte Abbildungen über die Anatomie von *Drosera* beigegeben sind. Angefügt ist eine kurze Schilderung der übrigen, in Europa nicht heimischen Familien der *Sarraceniales* (*Sarracenaceae*, *Nepenthaceae* u. a.). Bei

den *Crassulaceae* ist auch der häufigsten und auffälligsten Zierpflanzen gedacht. Hingewiesen sei auf die neue Gliederung des Formenkreises von *Sedum rupestre* L., zu dem *S. reflexe*, *S. elegans*, *S. montanum* und *S. ochroleucum* als Unterarten gestellt werden. Der Darstellung von *Sempervivum* wird eine Übersicht über die Sektionen der ganzen Gattung vorausgeschickt und eine Zusammenstellung der bisher aus Mitteleuropa bekannt gewordenen, schwierig zu unterscheidenden Bastarde angefügt. Die Bearbeitung der *Saxifragaceae* von Dr. Josias Braun-Blanquet (Zürich) enthält eine kurze Übersicht der in unseren Gärten verbreiteten Vertreter der *Hydrangeoideae* u. a., geht kritisch auf die Gliederung der ganzen Familie ein und bringt den Anfang der Darstellung von *Saxifraga*, deren Bearbeitung bereits vor dem Erscheinen der Monographie von Engler-Irmscher (Pflanzenreich IV, 117 (1916) abgeschlossen war. Die Umgrenzung mancher niedriger Sippen weicht von diesen Autoren ab. Da *Hegi's* Flora auch in dieser, wie in früheren Lieferungen die Beschreibung neuer Formen und Neubearbeitung kritischer Gruppen bringt, wäre die Angabe des Datums des Erscheinens der Lieferungen auf dem Umschlag oder im Text sehr wünschenswert. Der Preis der Lieferungen ist in Anbetracht der gewaltig gestiegenen Gesteungskosten als sehr niedrig zu bezeichnen.

**Hegi, G., Illustrierte Flora von Mitteleuropa**, mit besonderer Berücksichtigung von Deutschland, Österreich und der Schweiz. 42./44. und 45./47. Lieferung (Bd. IV, 2, Lief. 3—8). München, J. F. Lehmann, 1922. Grundpreis je M. 7,—, hierzu Zuschlag entsprechend der Teuerungszahl, am 16. 10. 1922, 110.

Das Erscheinen der Lieferungen des trefflichen Werkes erfolgt nunmehr zur Freude aller Bezieher in rascherer Folge. Die Lieferungen enthalten den Schluß der Gattung *Saxifraga*, die übrigen *Saxifragaceae*, einige kleinere Familien der *Rosales*, die bei uns angepflanzt vorkommen, die *Platanaceae* und die *Rosaceae* bis zur Gattung *Sieversia* Willd. aus der Verwandtschaft der *Dryadineae*. Bei der Gattung *Saxifraga* werden abweichend von Engler wieder eine Anzahl neuer Unterarten und Varietäten beschrieben, so bei *S. Hostii* Tausch, *S. moschata* Wulf, *S. exarata* Vill., *S. decipiens* Ehrh., *S. nivalis* L., *S. stellaris* L. und die bei Engler u. a. als eigene Gattung angesehene *Zahlbrucknera paradoxa* Rehb. wird als letzte Art der Gattung *Saxifraga* zugerechnet auf Grund der Arbeit von Schwaighofer (Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien, math.-nat. Klasse, Bd. CXVII, Abt. I, Januar 1908). Den Schluß der Bearbeitung bildet die Aufzählung von 18 Bastarden von *Saxifraga*. Jedem, der sich eingehender mit *Saxifraga* beschäftigen will, wird Braun-Blanquets durch zahlreiche Abbildungen, Analysen und Karten unterstützte Darstellung neben Englers Monographie der Gattung (Pflanzenreich IV, 117, Heft 67 und 69, Leipzig, W. Engelmann, 1916—1919) unentbehrlich sein.

Dem Dendrologen bieten die vorliegenden Bearbeitungen der Gattungen *Ribes*, *Platanus*, der *Rosaceae* *Spiraeoideae*, *Pomoideae*, *Rosoideae*, *Prunoideae* u. a. eine Fülle von Stoff. Dem Pomologen wird die zusammenfassende und durch zahlreiche Abbildungen und prächtige Farbentafeln unterstützte Bearbeitung der Obstgehölze sehr wertvoll sein, zumal auch übersichtliche Bestimmungstabellen der wichtigsten Obstsorten gegeben werden.

Besonders wertvoll ist die Bearbeitung der so



schwierigen Gattung *Rubus* aus der Feder von Professor Dr. Robert Keller in Winterthur mit Ergänzungen von Dr. H. Gams. Die dem *Rubus*-forscher unentbehrliche Spezialliteratur ist angeführt. Fast alle Arten werden durch charakteristische Originalphotographien, -abbildungen oder Zeichnungen nach Sudre dargestellt. Der Bearbeitung der Gattung *Potentilla* ist unter Berücksichtigung der Arbeiten neuerer Spezialforscher und der wertvollen biologischen Untersuchungen Sernanders u. a. die Monographie von Theodor Wolf zugrunde gelegt worden. Auch hier ist mit Abbildungen und Tafeln nicht gespart worden. Die 83 Seiten umfassende Bearbeitung wird als Führer durch diese so formenreiche und schwierige Gattung dem Pflanzenfreund und Fachmann gleich willkommen sein. Die photographischen Darstellungen einiger Arten, wie *P. fruticosa* L., *P. Clusiana* Jacq., *P. argentea* L., *P. dubia* (Crantz), *P. Crantzii*, *P. aurea* L., *P. anserina* L. sind in der Reproduktion nicht recht deutlich; vielleicht lassen sich diese Aufnahmen später durch bessere ersetzen. Die Ausstattung ist sonst die gleiche vorzügliche wie bisher, insbesondere sind die farbigen Tafeln (*Saxifraga*, *Ribes*, *Chrysosplenium* von Hayek, *Aruncus*, *Cotoneaster*, *Cydonia*, *Rubus*, *Pirus*, *Malus*, *Amelanchier*, *Potentilla*, *Dryas* u. a. von E. Pfenniger und Dünzinger, *Sorbus*, *Crataegus* von F. Kozian) trotz der teilweisen Überladung klar und in der Farbgebung hervorragend schön. Der Preis der Lieferungen entspricht den Verhältnissen und setzt sich zusammen aus dem Grundpreise (Vorkriegspreis) von 7 M., der mit der jeweils gültigen Teuerungszahl zu multiplizieren ist. E. Ulbrich, Berlin-Dahlem.

**Krauß, F., Die Nomographie oder Fluchtlinienkunst**  
Ein technischer Leitfaden. Berlin, Julius Springer, 1922. VIII, 56 S. und 26 Textfiguren. 15 × 23 cm. Preis geh. M. 27,— mal Schlüsselzahl.

Eine überaus leichtfaßliche Einführung in die Nomographie. Naturwissenschaftler aller Art werden hier in einer so einfachen Weise und auf so anschaulichem Weg mit den mathematischen Grundlagen und der Praxis des Gebietes vertraut gemacht, daß niemand die mathematischen Ansprüche überschritten finden wird, die er für seine Person zulässig findet. Selbst ein ziemlich leerer Schulsack wird dazu ausreichen. Einen weiteren Vorzug des Büchleins darf man in den zahlreichen lebenswahren Beispielen sehen, die vom Verfasser selbständig ohne Anlehnung an Vorlagen konstruiert sind. Das Büchlein ist frisch und natürlich geschrieben. Niemand wird es ohne Gewinn aus der Hand legen. L. Bieberbach, Berlin.

**Friese, H., Die europäischen Bienen (Apidae). Das Leben und Wirken unserer Blumenwespen.** Eine Darstellung der Lebensweise unserer wilden wie gesellig lebenden Bienen nach eigenen Untersuchungen für Naturfreunde, Lehrer und Zoologen. 1. Lfg. Berlin und Leipzig, Vereinigung wissenschaftlicher Verleger, 1922. 112 S. und 7 farbige Tafeln.

Der bekannte Hymenopterologe bietet hier ein begrüßenswertes Werk über die Biologie unserer Bienen, und zwar sowohl der wilden (= solitären) als der gesellig lebenden, welche letztere nur die Honigbiene und die Hummeln umfassen, da die tropischen Meliponen dem Thema gemäß nicht berücksichtigt sind. Von dem Buch liegt heute die 1. Lieferung vor; sie zeigt eine ausgesprochen populär-wissenschaftliche Einstellung: das Wissenswerte und bisher Bekannte über die reizvolle Insektengruppe wird in einer leicht verständlichen, manchmal stilistisch etwas gar zu wenig gestrafften Form geboten. Einer kurzen Einleitung über

systematische Stellung, Zahl und Lebensweise der Bienen folgt ein morphologisch-anatomisches, mit einer Reihe klarer Zeichnungen ausgestattetes Kapitel. Sodann ein weiteres über Nestbau und Nestanlage, in welchem auch die einschlägigen Fragen der Ernährung, der Brutpflege, der Wachserzeugung usw. zur Behandlung kommen. Daß die an sich sehr interessanten Abschnitte über den phylogenetischen Aufbau der Gattungen nach verschiedenen biologischen, morphologischen und anatomischen Gesichtspunkten in dieses Kapitel aufgenommen sind, nur weil der erste jener Gesichtspunkte eben der Vollkommenheitsgrad des Nestbaues ist, erregt logischen Widerspruch. Das Kapitel über die einzelnen Gattungen ist nur mehr zu einem kleinen Teil in der vorliegenden Lieferung enthalten. Darüber wie über den Gesamteindruck des Werkes wird erst nach seinem vollständigen Erscheinen zu sprechen sein. Die farbigen Tafeln, soviel läßt sich schon auf Grund des 1. Heftes sagen, sind nach Zahl und Qualität für die heutige Zeit eine achtenswerte Leistung. Max Dingler, München.

**Hofbauer, Ludwig, Atmungs-Pathologie und Therapie.**  
Berlin, Julius Springer, 1921. XII, 336 S. und 144 Textabbildungen. Preis geh. M. 64,—, geb. M. 74,—.

Auch nach allgemeinen naturwissenschaftlichen Gesichtspunkten verdient das vorliegende Werk regstes Interesse.

Auf eine breite anatomische und physiologische Basis gestellt gibt die Darstellung in fesselnder Weise über das Ineinanderspielen physikalischer (hauptsächlich statischer und mechanischer) sowie chemischer Kräfte bei dem Zustandekommen des normalen Atmungsvorganges und seiner krankhaften Abarten reichen Aufschluß. Welch unvorhersehbare Folgen eine scheinbar nur geringe Abweichung vom normalen Mechanismus zeitigen kann, deckt der Verfasser u. a. an dem Beispiel der fehlerhaften habituellen Mundatmung auf, die zu tiefgreifenden und verhängnisvollen Veränderungen in den Luftwegen, den Atmungs- und Kreislauforganen führen kann.

Wie fruchtbar solche auch an einem großen Krankenbestand erprobte Betrachtungsweise für die Klinik werden kann, lehrt der Abschnitt über Atmungstherapie, der im allgemeinen und im speziellen Teil die wertvollste Anleitung für die Behandlung abnormer Atmungstypen gibt, und auch die Anwendung von Atemübungen zur therapeutischen Beeinflussung krankhafter Zustände im Kreislauf, Verdauungs- und Nervensystem lehrt.

Auch dieses Werk wird den Ruhm der unter so schwierigen Verhältnissen mächtig aufstrebenden neuen Wiener Schule mehren.

Adolf Lazarus, Berlin-Charlottenburg.

## Biologische Gesellschaft zu Leipzig.

Sitzung vom 21. November 1922.

Vors.: Herr Hempelmann i. V., Schriftf.: Herr Klein-knecht.

### Georg Herzog: Die Bedeutung der Gefäßwandzellen für die Zellneubildung.

Die Gefäßwandzellen von Kapillaren bestehen im allgemeinen aus Endothel- und Adventitialzellen, welche letztere ursprünglich sich von Endothel- oder vielleicht besser gesagt primären Gefäßwandzellen herleiten, und sind wohl in ständiger, beim Wachstum die Wandzellen von Arterien und Venen, also auch die Muskelzellen der Media, zu bilden. Vortr. läßt ferner



im normalen postfoetalen Gewebe Fibroblasten, Fettzellen, Osteoklasten und Osteoblasten, großkernige Bindegewebswanderzellen, die Lymphozyten in den lymphat. Apparaten, Granulozyten und Erythrozyten im Knochenmark in letzter Linie aus Gefäßwandzellen hervorgehen. Im Gehirn kommen, z. T. in der Adventitia von Gefäßen, z. T. im Nervengewebe, noch im Zusammenhang mit kleinen Gefäßen oder frei, mitunter in einer glösen Scheide, größere langgestreckte und reich verästelte Elemente vor, die Votr. mit *Ramon y Cajal* wahrscheinlich für Abkömmlinge der, gleichen mesodermalen Zellen hält. Auch bei der embryonalen Blutzellbildung ist nach den neueren Untersuchungen durch Umwandlung mesenchymaler, bzw. endothelialer Zellen die andauernde Entstehung neuer Blutstammelemente anzunehmen; nach *Mollier* haben die blutbildenden embryonalen Gefäßanlagen alle reticuläre Wand, die sich nach Beendigung der Blutbildung zur geschlossenen Endothelröhre verdichtet. Bei entzündlichen Prozessen ist das Übergehen wuchernder Kapillärwände in ein reticuläres Gewebe nachzuweisen und können sich die Gefäßwandzellen zu lymphozytären und granulozytären Zellen, den Mononucleären des Blutes entsprechenden Wanderzellen, Riesenzellen und Fibroblasten differenzieren; auf ihre Umwandlungsfähigkeit in die für Tuberkulose, Typhus, Syphilis und Lymphogranulomatose charakteristischen Zellformen wird speziell hingewiesen.

Auch für die Konstitution erscheint die Bedeutung der Gefäßwandzellen grundlegend. Den Status lymphaticus, die osteoiden Wucherungen der Rhachitis, die sich hauptsächlich um kleine Gefäße entwickeln, führt Votr. auf anormale Leistungen der Gefäßwandzellen zurück und wirft die gleiche Frage auch für andere konstitutionelle Erkrankungen auf; ebenso für die Anämien. Für die Beziehungen der Gefäßwandzellen zur inneren Sekretion wird besonders die Neubildung von Fettzellen und die mangelhafte Entwicklung knochenbildender Zellen bei Erkrankung verschiedener inkretorischer Organe hervorgehoben. Die Qualität der Gefäßwandzellen scheint ferner von Einfluß auf den Ablauf von Infektionskrankheiten, speziell der Tuberkulose, besonders hinsichtlich der Verkäsung, zu sein und kann von konstitutionellen, zellulär-immunitätsrischen und anderen Bedingungen abhängen. In Nutzbarmachung dieser Gedankengänge für die Therapie wird auf die Beeinflussung der Gefäßwandzellen durch Immunisierung und Chemikalien hingewiesen; wenn für dieselben das Eisen ein Reizmittel zur Hämoglobimbildung ist, sollte es nicht Stoffe geben, die sie auch nach anderen Richtungen ihrer Potenz qualitativ zu beeinflussen vermögen? Endlich werden die Gefäßwandzellen zur Entstehung zahlreicher Bindesubstanzgeschwülste in Beziehung gebracht. Bei wachsenden Fibromen und Lipomen sieht man die jungen Zellen von der Kapillärwand ausgehen; Lymphosarkome, an denen neben freien Zellen ein zelliges Reticulum entwickelt ist, bringt Votr. — analog der Bildung des reticulären Gewebes der Keimzentren — mit Gefäßwandzellen in genetische Verbindung. Geschwulsteigene Zellen vieler sarkomatöser Tumoren, u. a. von Riesenzellsarkomen der Knochen, sind zur Bildung von Blutgefäßwänden befähigt und zeigen gleichzeitig noch andere Zellformen, welche solchen Elementen entsprechen, wie sie beim normalen und entzündlichen Wachstum aus Gefäßwandzellen abzuleiten sind; so müssen wohl verschiedene sarkomatöse Geschwülste auf Wucherungen primärer Gefäßwandzellen oder ihnen adäquater Elemente bezogen werden. Gewisse Blutungen bei ent-

zündlichen Prozessen und sarkomatösen Geschwülsten werden auf eine „Aufspaltung“ der wuchernden Gefäßwand zurückgeführt und können nicht durch Rhexis, Diapedese, Arrosion und Diärese erklärt werden.

Eine derartige Beleuchtung, wie sie im Vorausgegangenen das Gefäßbindegewebe erfahren hat, wäre gleichfalls für andere Gewebssysteme und auch für die Beziehungen verschiedener Systeme zueinander von Interesse. *Eigenbericht.*

Aussprache: *Hueck, Oeller, Spalteholz, Nissl von Mayendorff, Seitz.*

## Deutsche Ornithologische Gesellschaft.

In der Sitzung am 2. Oktober 1922 sprach Dr. *Görnitz* über *Die Abhängigkeit der Gefiederfärbung von klimatischen Einflüssen* und führte folgendes aus: Die Farben der Vogelfeder werden hervorgerufen durch: 1. Farbstoffe (Pigmente), die in der Federsubstanz eingelagert sind; 2. die Struktur der Feder selbst. — Abgesehen von einigen seltener auftretenden Pigmenten tropischer Vögel, sondern sich die Farbstoffe in Melanine und Lipochrome. Die Melanine, feine Körnchen von schwarzer, brauner oder gelblicher Farbe, sind löslich in Alkalien und konzentrierten Säuren. Die meist stabförmigen schwarzen Pigmente werden als Eumelanine, die helleren als Phäomelanine bezeichnet. Erstere lösen sich schwer, letztere leichter. Zwischen beiden Melaninarten kommen häufig Übergänge vor. Im Gegensatz zu den Melaninen liegen die Lipochrome, die Farbstoffe der intensiv gelben und roten Federn, meist nicht als Körnchen in der Feder, sondern durchsetzen in gelöster Form die ganz Feder. Außer durch Alkalien lassen sie sich durch die Lösungsmittel der Fette (Alkohol, Äther, Chloroform) der Feder entziehen. Andere Farben, wie Blau, Grün, Weiß und alle Schillerfarben werden durch die Struktur der Feder erzeugt, die häufig mit einem untergelagerten Pigment in Verbindung steht. Durch Kombination von verschiedenen Pigmenten untereinander oder durch Kombination verschiedener Federstrukturen mit Pigmenten entstehen die zahlreichen Farbenabstufungen und Farbenvariationen.

Im kalten Klima besteht bei den Vögeln ebenso wie bei den Säugetieren eine Neigung zur Bildung heller Formen. Diese Aufhellung wird durch eine Unterdrückung der Melaninbildung hervorgerufen. Zuerst erleiden die Phäomelanine eine Einbuße, und erst in noch größerer Kälte, wie in Grönland und Ostsibirien, werden auch die Eumelanine zurückgebildet. Einen solchen Ausfall der Eumelanine sehen wir z. B. beim Jagdfalken, der im hohen Norden eine fast ganz weiße Farbe bekommen hat, ferner beim weißbäuchigen Kleiber. Diese Regel gilt nur für Stand- und Strichvögel, da die Zugvögel nicht der Winterkälte ihrer Heimat ausgesetzt sind. Auch in trockenen Gebieten, wie in der Sahara, läßt sich bei Arten, die nur Eumelaninfärbung besitzen, eine Abnahme der Eumelanine nachweisen. Makroskopisch tritt dieselbe beim Kolkrahen *Corvus corax ruficollis* als bräunlicher Gefiederton in Erscheinung, bei *Lanius excubitor elegans* als hellgraue Rückenfärbung. Bei Arten, die sowohl Eumelanine wie Phäomelanine besitzen, zeigt sich gleichfalls ein Rückgang der ersteren, jedoch in Verbindung mit einem Ersatz an Phäomelaninen für die ausgefallenen Eumelanine. Auf diese Weise entstehen in trockenen Gebieten die fahlen Wüstenfärbungen, wie wir sie bei den afrikanischen Lerchenformen sehen. Die Einwirkung feuchten Klimas ruft dagegen eine Zunahme des



Eumelanine hervor, wodurch das Auftreten dunkler Formen auf Inselgebieten bedingt wird, z. B. die dunkel gefärbte Bachstelze, *Motacilla lugubris*, in England. Die Lipochromen haben dagegen eine größere Unabhängigkeit vom Klima, obwohl sich auch bei ihnen eine geringe Abnahme in kalten, wie in trockenen Gebieten nachweisen läßt.

In der Sitzung am 6. November 1922 hielt Professor Dr. Behrmann einen Vortrag über **die Kaiserin Auguste-Viktoria-Fluß-Expedition in den Jahren 1912/13**. An der Hand vorzüglicher Lichtbilder gab der Vortragende ein sehr fesselndes und lehrreiches Bild von den geographischen und ethnographischen Verhältnissen in Neuguinea. Im Anschluß hieran zeigte Dr. Stresemann eine Reihe von Bälgen und ausgestopften Stücken der in Neuguinea lebenden Paradiesvögel und wies besonders auf die außerordentlich verschiedene Art der Schmuckfederbildung dieser eigentümlichen Vogelgruppe hin. Die Schmuckfedern der Männchen erscheinen bald als schleierartige Federbildung, bald als fadenförmige Strahlen mit hornartigen Anhängeln, oder auch als flügelartige Gebilde. An eine Ausrottung der Paradiesvögel ist nach Professor Behrmann glücklicherweise vorläufig nicht zu denken, da gewaltige Gebiete im Innern Neuguineas kaum von Europäern betreten werden, die gewissermaßen natürliche Schutzreservate bilden.

F. von Lucanus, Berlin.

## Geographische Mitteilungen.

**Die natürlichen Landschaften Mexikos.** (E. M. Sanders, *the natural regions of Mexico*; The Geographical Review 11, 212, 1921.) Als südlichster Ausläufer des nordamerikanischen Kontinentes zeigt Mexiko den gleichen Aufbau wie die benachbarten Teile der Union, ein — freilich stark verschmälertes — flachseesäumtes atlantisches Tiefland, eine von zwei Randketten eingefasste, z. T. stark vulkanische Hochlandmasse und einen zu ozeanischen Tiefen abstürzenden pazifischen Küstensaum. Erst südlich der Enge von Tehuantepec schließen sich in dem in die mexikanische Grenze fallenden Anteil der mittelamerikanischen Gebirgsmasse und dem jungen Flachlande von Yucatan nordamerikafremde Glieder an. Der Lage Mexikos innerhalb des Passatgürtels entsprechend, ist die atlantische Seite stärkeren Niederschlägen ausgesetzt als die pazifische bei gleichzeitiger Abnahme der Feuchtigkeit nach dem kontinentalen Norden zu. Die Temperaturverteilung folgt der Höhengliederung und findet ihren Ausdruck in der Stufenfolge von Klimagürteln: *tierra caliente*, das heiße Tiefland, *tierra templada*, die gemäßigten Flanken der Gebirgsmasse, *tierra fria*, das kühle Hochland, *tierras heladas*, die Hochgebirgsregionen der Randketten. Aus dem Zusammenspiel dieser einfachen Grundlagen ergibt sich die Vielgestaltigkeit mexikanischer Landschaft. Das atlantische Küstenland, dem benachbarten Texas ähnlich, flach, spärlich benetzt, von Dünen und Strandsümpfen eingefasst, im Norden mit Dornsteppe (*chaparral*) bedeckt, geht südwärts in savannenartiges Land über, in dem Haine von Feigenbäumen und Zwergpalmen die Einförmigkeit des zum Baumwuchs entwickelten Dornbusches unterbrechen. Weiter äquatorwärts bedeckt sich das schmaler gewordene, an Strandseen ärmere, reichlicher befeuchtete, von Flüssen durchschnittene Land mit Grasflächen, untermischt mit schon tropischen Waldflächen und Galeriewäldern. In den unteren Lagen gedeiht das Zuckerrohr, in den höheren der Kaffee.

Jenseits der Tehuantepecenge hat sich auf dem wieder breiten, strandseesäumten Tiefland echter tropischer Regenwald entwickelt. Nun folgt das teils von brackigen Lagunen, teils von Korallenriffen gesäumte Yucatan, eine verkarstete Kalkfläche, die von niederem Busch und von Grasbestand bewachsen ist und, der Brandkultur unterworfen, der Erzeugung der Fasern liefernden Sisalagave zum hohen Nutzen des Landes dient. In dem vom Erdbeben heimgesuchten, äußerst schmalen pazifischen Küstenlande ist die nordwestliche Hälfte wüst und halbwüst, während die andere dem atlantischen Gestade ähnelt. Die atlantische Flanke des Hochlandes ist im Nordosten noch mit flachgelagerten Schichtgesteinen bedeckt und in Stufen gegliedert, denen häufig fächerförmige Schuttkegel, zeitweilig fließende Wasserläufe vorgelagert sind. Südlich der Breite von Tampico ist sie bei größerer Höhe und geringerem Küstenabstande durch zahlreiche tiefe Cañons zerrissen und von Vulkanen besetzt. Die Zusammensetzung ihrer südwärts in gleicher Weise wie an der Küste zunehmenden Vegetation entspricht der Höhenlage: der Zuckerrohr-, Kaffee- und Tabakzone folgt aufwärts die des Getreidebaues, die der Eichen- und Fichtenwälder (1300—2000 m) und die der Fichtenbestände (2000—2700 m). Ähnlich ist das Bild der kliffartigen pazifischen Flanke, die jedoch in großen Teilen vegetationslos ist.

Von den Hochländern stellt das der Halbinsel Niederkalifornien eine aufgerichtete, ihrer Sedimentdecke entblößte, wieder untergetauchte, von neuem bedeckte und zum zweitenmal erhobene, aber noch immer teilweise untergetauchte Kor-dillere vor. Je nach dem Vorhandensein von Resten der Sedimentdecke herrschen oft von Lava-ergüssen bedeckte Tafeln (*mesas*) oder scharf modellierte Granitberge vor. Mit Ausnahme des äußersten Südens, der dauernde Flüsse enthält, ist die Halbinsel trocken, von Fiumaren zerschnitten und von Dornbusch, Agaven, Kakteen und Yuccaarten bedeckt. Die Oberfläche des gegenüberliegenden Hochlandes von Sonora wird von Ketten, Tafelbergen und Hügeln, Zeugen abgeräumter Kor-dillerenketten und von mehr oder weniger geschlossenen, abflußlosen Becken gebildet, die pflanzenlos sind oder Dornbusch tragen. Die noch wenig erforschte, stark vulkanische Westkordillere, vermutlich ein System küstenparalleler Ketten, ist in ihren oberen Teilen je nach der Niederschlagsmenge mit Eichen oder Fichten bewachsen. Das trockene Hochland des Nordostens, in der westlichen Hälfte eine Tafelberglandschaft, im Osten durch tiefe Senken (*boisones*) ausgezeichnet, ist von spärlicher Kaktus- und Yuccavegetation eingenommen und läßt sich, Bewässerung vorausgesetzt, in ein fruchtbares Pflanzungsland verwandeln. Das zentrale Hochland, aufgebaut aus kristallinen und Schichtgesteinen, von Ergüssen durchsetzt, gefaltet, zerbrochen, verrüttet, ungleich — im Süden höher — erhoben und mit gewaltigen Vulkankegeln besetzt, wird hinlänglich benetzt. Die Niederschläge lassen die Ansammlung flacher, stehender Gewässer zu, die einst von größerer Ausdehnung waren. Die Kraft der Flüsse wird durch ihr hohes Gefälle verstärkt. Die Vegetation nimmt südwärts zu und besteht aus Grasland auf den Ebenen. Busch an den unteren, Rottannen und Föhren an den oberen Hangabschnitten. Oberhalb 4000 m dehnen sich Almen bis zur 5000 m hohen Schneegrenze aus. Auf der Fruchtbarkeit dieser Hochlandregion beruht die geschichtliche Bedeutung Mexikos. In dem südlich der Enge von Tehuantepec gelegenen, im Norden vulkani-



schen Hochlande von Chiapas macht sich die Lage in niederen Breiten in einem Zurückweichen der Nadelhölzer in größere Höhen und dem entsprechend in größerer Verbreitung tropischer Pflanzen geltend. In tieferen Lagen wird hier Zucker, Kaffee, Kautschuk und Kakao gewonnen.

**Die Jahrhundertfeier-Expedition der Indiana-Universität in das peruanische Amazonien.** (W. R. Allen Science 53, 377, 1921.) 1918/19 hatte W. R. Allen als Teilnehmer der sog. Irwin-Expedition die Oberlaufgebiete des Huallaga und Ucayali zwischen 4000 m und etwa 700 m zwecks Erforschung der Fischwelt Hochperus bereist. 1920 brach er wiederum auf, um die Forschungen auch auf die Tieflandstrecken der genannten Ströme und auf den Marañon auszudehnen. Das Landschaftsbild dieser Gegenden wird durch den Wasserstand der Ströme bedingt, der in Iquitos am Amazonas eine Jahresschwankung von etwa 13 m zeigt. Die Überschwemmung des niedrigen Uferlandes erstreckt sich auf Hunderte von Kilometern. Zahllose, buchtenreiche Seen schwankenden Umrisses (*cochas*) bilden mit ihren verknüpfenden Kanälen (*cañas*) ein Netzwerk von Gewässern, die zumeist stagnieren, z. T. auch starken Schwankungen der Strömung unterworfen sind und sich nach lokalen Regen innerhalb weniger Stunden aus träge fließenden Wasserläufen in reißende umwandeln können und umgekehrt.

Die Ausdehnung der Schifffahrt der peruanischen Ströme ist größer als die der brasilianischen, weil Stromschnellen in Mündungsnähe fehlen; selbst der Pongo de Manseriche am Austritt des Marañon aus den Kordilleren, früher berüchtigt, ist nicht nur für Kanus und Flöße, sondern auch für kleine Dampfboote (*lanchas*) schiffbar. In dem flachen Lande erscheinen die Geländebezeichnungen oft übertrieben: *cerro*, Gebirge, wird die leiseste Bodenschwellung, *altura* jeder hochwassersichere Landstrich, *pongo* jede Untiefe der Stromsohle genannt. Diesen Verhältnissen entsprechend steigen die Fische des Amazonas ins östliche Peru hinauf. Mit dem wechselnden Wasserstande wechseln die Standorte der einzelnen Arten, von denen man — wie schon Bates beobachtete — selten mehr als ein halbes Dutzend an der gleichen Stelle fischt. Nur in den Seen findet man mehr Arten, indessen verteilen auch sie sich auf die verschiedenen Teile. Nicht nur zahlreiche Familien von Fischen, sondern auch Alligatoren und Wassersäugetiere, Ottern, Lamantine usw. beleben die Ströme nicht minder als die Landfauna ihre Ufer.

Das Jahr 1920 hatte ungewöhnlich starken Regenfall und dementsprechend hohen Wasserstand, selbst in der trockenen Jahreszeit. Die außerordentliche Überschwemmung hatte viele Pflanzungen zerstört und Knappheit an Reis, Bohnen, Yucca, Bananen usw. hervorgerufen. Sande im Strome zeigten sich nicht. Das Fischen mit dem Schleppnetz war erschwert, dagegen war die Wurfnetzfisherei wegen der Anwesenheit ganzer „Schulen“ des *Mijano*-Fisches geboten, die zum Nutzen der Anwohner auch den überschwemmten Uferwald (*monte*) bevölkerten. Dem Überflusse gewisser Fische stand das Seltenerwerden anderer gegenüber, z. B. des riesigen *Pirarucu* (*Arapaima gigas*). Raubfisherei mittels Dynamit und Vergiftung mit der Wurzel der *cube* hat kleine Gewässer verödet, ihre Wiederbevölkerung stößt mangels Erfahrung auf Schwierigkeiten. Auch die Reihär, denen der Federn wegen nachgestellt wird, sind in Gefahr, ausgerottet zu werden. Zahllos sind aber immer noch die Schild-

kröten, die Bates bedroht glaubte. Der vielfach behaupteten Urinophilie des *Candiru*-Fisches wurde durch häufiges Aushängen entsprechender Köder nachgespürt, indessen konnte dieser seltsame Tropismus im Gegensatz zu dem erwiesenen mit Bezug auf Blut niemals festgestellt werden.

Der wirtschaftlichen Entwicklung des im ganzen keineswegs unwirtschaftlichen und fieberverseuchten Landes steht seine Abgelegenheit entgegen, die seinen Verkehr von der Wasserstraße und der Aufsicht des Nachbarstaates Brasilien abhängig macht.

**Zur Entschleierung des Innern von Brasilien.** (*General Rondon's work in the Brazilian Wilderness*, The Geographical Review 11, 441, 1921.) Auf eine vierzigjährige für die geographische Kenntnis und die Verkehrserschließung der Binnenstaaten Brasiliens bedeutsame Tätigkeit blickt der brasilianische General Rondon zurück. Gebürtig in Cuyabá in Matto Grosso trat er in den Dienst der *Comissão de Linhas telegraphicas estrategicas de Matto Grosso ao Amazonas* und durchquerte auf vielfachen Wegen das zwischen 3° und 22° S. und 50° und 65° W. gelegene, nicht selten ihm zu Ehren *Rondonia* genannte Gebiet. Das greifbarste Ergebnis seiner Reise ist die telegraphische Verbindung der beiden größten Ströme des Erdteiles, des Paraguay und des Amazonas auf einer Strecke von 4500 km, die gleichzeitig mit Wegen versehen wurde. 1890—98 wurde das vorher gänzlich abgeschnittene Goyaz mit Cuyabá, 1900—04 dieses mit dem Paraguayhafen Corumba verbunden, während 1905—06 eine Linie der paraguayischen und bolivianischen Grenze entlang gelegt und 1907 der Madeira angeschlossen wurde. Bis 1915 wurden dann die in Matto Grosso entspringenden Nebenströme des Amazonas erkundet. Auf einer dieser Reisen wurde Rondon von dem Präsidenten Roosevelt begleitet, was zu der bekannten Umbenennung des Rio Duvida in Rio Theodoro (jetzt Rio Roosevelt) Anlaß gab. In den letzten Jahren vollendete Rondon im amazonischen Grenzgebiete Matto Grossos sein geographisches Werk, das nunmehr in den Veröffentlichungen der genannten Kommission erscheint.

**Die Wälder Formosas.** (*On Formosan forests*; The Geographical Review 12, 152, 1922.) Die Insel Formosa, unter dem nördlichen Wendekreis unfern vom asiatischen Festlande, den Philippinen und dem japanischen Archipel gelegen, bis zu 4100 m ansteigend und reichlich mit Niederschlägen benetzt, läßt von vornherein Reichtum und Vielgestaltigkeit des Waldkleides erwarten. Das wird bestätigt durch die Untersuchungen *Ryozo Kanehiras*. Der Autor unterscheidet 4 Klimabzw. Höhengürtel des Waldes: den tropischen unterhalb 300 m mit einer Tieflandregion, in der *Ficus* leitend ist, und einer Region von den Gezeiten beeinflusster Strandwälder mit Mangroven, den warmen mit immergrünen Laub- und spärlichen Nadelhölzern (Laurineen, Cupuliferen, Urticaceen, Euphorbiaceen, Leguminosen); den gemäßigten, in dem Coniferen, namentlich *Chamaecyparis* in mehreren Arten die Laubhölzer überwiegen und in dessen höheren Lagen *Tsuga formosana* gedeiht; die Kühle mit spärlicher Bewachsung, reinen Beständen einer Tanne und mit Gras im Busch.

Von den 998 Elementen seiner Flora hat Formosa 18 % mit China, 14 mit Japan, 13 mit Indien, 10 mit der malayischen Inselwelt, 5 mit den Philippinen, 3 mit Australien und 1 mit Afrika gemein, während 36 % endemisch sind. Hieraus wird auf einen Zusammenhang mit dem Festlande in verhältnismäßig junger Zeit.

geschlossen. Das Vorherrschen indomalaiischer Bäume in den Strandwäldern wird der Verbreitung durch Strömungen zugeschrieben.

**Zur Erforschung des westpatagonischen Inlandeises** sind 1921 wiederum deutschargentinische und deutschchilenische Forscher in die Kordilleren zwischen 46° und 47° s. Br. eingedrungen. Ausgangspunkt der erfolgreichsten Expedition war die berühmte San-Rafael-Lagune auf der Ofquilandbrücke. Von hier aus gelangte Dr. Reichert trotz ungünstigsten Wetters bis zu einem 35 km entfernten, 1500 m hoch gelegenen Punkte des Massives Cerro San Valentin, das in 4000 m, der höchsten Erhebung Patagoniens, gipfelt. Die der Küste benachbarte Kette ist aus Dioriten, Gneisen und kristallinen Schiefern aufgebaut und von Lücken unterbrochen, durch die die nach der San-Rafael-Lagune und ihrer Nachbarschaft ziehenden Gletscher ihren Weg nehmen. Nach Osten zu fällt das Gelände schroff ab gegen ein 30 km breites, 100 km langes Eisfeld, das das westliche Längstal der Kordilleren vollkommen ausfüllt und sich weiter ostwärts in verschiedenen Senken gegen das Seengebiet des Lago Buenos Aires abdacht. Die Firstlinie wird von einer Reihe gewaltiger Hochgipfel eingenommen. Nach tagelangem wolkenbruchartigen Regen ihrer Nebelhülle plötzlich entkleidet, gewährte diese Hochgebirgslandschaft einen geradezu märchenhaften Anblick. (Petermanns Mitt. 68, 1922.)

**Forschungen im argentinischen Territorium Chubut** führte 1917 und 1918 Anselmo Windhausen zum Zwecke der Wasserversorgung des Hafens Puerto Madryn aus. Als Ergebnisse sind eine geologische Übersichtsskizze im Maßstabe 1 : 1 Mill., Profile und eine hydrologische Karte des Gebietes zu buchen. Die ersteren lehren, daß das Gebiet des Chubutflusses und der Sierra de Telsur aus gewaltigen Porphyridecken aufgebaut ist. (Petermanns Mitt. 68, 25, 1922.)

**Die Ausgrabung des Pueblo Bonito im Unionstaate Neu-Mexiko** hat die National Geographic Society von Washington unternommen. Es handelt sich dabei um eine jener Mauer an Mauer gebauten, terrassenförmig übereinander aufsteigenden Agglomeratsiedlungen, wie sie heute noch bei den Hopi-Indianern in Gebrauch, vornehmlich aber charakteristisch für nordamerikanische Ruinenstädte sind. Die Gebäude des ausgegrabenen Pueblo, der schätzungsweise 12—15 000 Menschen beherbergt hat, zeigen drei verschiedene Typen, die entweder auf verschiedene Kulturstufen oder auf die Überschiebung verschiedener Bevölkerungswellen hinweisen. Vielleicht ist der Pueblo ursprünglich von einem den Hopi verwandten Volke bewohnt gewesen, das von Navajosstämmen verdrängt, sich zu den Zuñi flüchtete. Den bisherigen Funden zufolge waren die Bewohner Ackerbauer, die indessen noch starke Erinnerungen an ein Jägerleben aufweisen. Im ganzen scheint der Pueblo den Übergang vom gemeinschaftlichen zum individuellen Siedlungsleben zu veranschaulichen; jenes spricht sich in der streng einheitlichen Ortsanlage, dieses in der zellenmäßigen Sonderung der Familien aus. (Langlois, La Géographie, 38, 62, 1922.)

Die kürzlich im *Anuario estadístico* veröffentlichten Ergebnisse der **Volkszählung in Kolumbien** zeigen, daß die Bevölkerung dieses Staates von (1912)

5 068 833 auf (1918) 5 847 491 gestiegen ist, sich also um 16 % vermehrt hat. (Im gleichen Zeitraume vermehrten sich die Vereinigten Staaten um 14 %, Brasilien um etwa 30 %). Indianischen Stammes werden insgesamt nur 160 436 Personen angegeben, die in vorherrschender Menge in dem entlegenen Territorium Caquetá bzw. am Putumayo sitzen. Die geringe Zahl erklärt sich wohl daraus, daß man nur die unzivilisierten Indianer gerechnet und alle Mischlinge den Weißen zugezählt hat.

B. Brandt.

#### Neue amtliche Kartenwerke des Reichsamtes für Landesaufnahme.

1. *Karte des Memelgebietes.* 1 : 300 000. Buntdruck in 5 Farben.
2. *Alpenkarten.* 1 : 200 000. Buntdruck.
  - a) Bayerisches Hochland und Nordtirol — östlicher Teil.
  - b) Desgl. — westlicher Teil.
  - c) Algäuer Alpen, Vorarlberg und Westtirol.
 Die 3 Karten stellen ein zusammenhängendes Gebiet dar; das Hochgebirge ist durch eine besondere Signatur gekennzeichnet.
3. *Karte des unteren Werratales.* 1 : 100 000. Buntdruck.
4. *Kreiskarten.* 1 : 100 000. Dreifarbendruck: Johannisburg.
5. *Kreiskarten.* 1 : 100 000. Schwarzdruck: Cammin. — Herzogtum Lauenburg. — Luckau.
6. *Große Umgebungskarte von Bremen.* 1 : 100 000. Dreifarbendruck.
7. *Karte von Berlin und Umgebung.* 1 : 50 000. 12 Blätter. Buntdruck. Neuauflage 1922 mit Erläuterungen des Studienrates Paul Schneider.

Ein ganz vorzügliches Kartenwerk, das an Genauigkeit und Deutlichkeit der Darstellung sowie Schönheit der Ausführung alle anderen Umgebungskarten Berlins weit übertrifft. Die Blätter sind sowohl für wissenschaftliche Studien als auch zur allgemeinen Orientierung für Ausflügler, Wanderer, Radfahrer usw. auf das wärmste zu empfehlen. Insbesondere erleichtert die Ausführung in verschiedenen Farben für Wege, Wald, Wiese, Gärten, Gewässer usw. die Benutzung der Karte auch solchen Personen, die keine Übung im Kartenlesen besitzen.

8. *Meßtischblätter.* (Auf Grund von Neuaufnahmen.) 1 : 25 000. Schwarzdruck, größere Gewässer blau: Blatt Nr. 1003 — Rudschanny.

Von wissenschaftlichen Schriftwerken des Reichsamtes für Landesaufnahme ist erschienen:

*Deckblätter* vom Mai 1922 zu Teil XXII des Werkes „Abrisse, Koordinaten und Höhen“.

O. B.

#### Berichtigung.

Bezüglich der in meinem Referat in Heft 49 dieser Zeitschrift (S. 1063) als fehlerhaft gerügten Tabelle von Doppelsternmassen teilt mir Herr Prof. Schlesinger mit, daß nicht die in der Tabelle angegebenen trigonometrischen Parallaxen den Rechnungen zugrunde liegen, sondern die um 0".005 vergrößerten Werte, d. h. in der Tabelle stehen die relativen trigonometrischen Parallaxen. Nimmt man darauf Rücksicht, dann beheben sich in der Tat die meisten Unstimmigkeiten und es bleiben nur einige kleinere Versehen übrig.

H. Kienle.



## Sachregister.

- Aal, Das Laichgebiet des —. Bericht über die Arbeit von Dr. Joh. Schmidt (Kopenhagen): The Breeding Places of the Eel (Rudolf Drost). S. 1089.
- Abtragung (B. Brandt), s. Geomorphologische Restformen. S. 1103.
- Acer negundo, Die Weißrandpanaschierung von —. S. 61.
- Actinium, Das Problem der Genesis des — (Bespr.). S. 209.
- Admiralfalter Pyrameis atalanta L., Die chemische Sensitivität der Fußglieder des —. S. 847.
- Adventivembryone, Über experimentelle Erzeugung von — bei Oenothera Lamarckiana. S. 62.
- Aerodynamische Versuchsanstalt, Die — und ihre Bedeutung für die Technik (L. Prandtl). S. 169.
- Aerologische Flugzeugaufstiege in Adlershof. S. 615.
- Afrika, Bevölkerungspolitik unter den Eingeborenen —. S. 262.
- , Die Pflanzenwelt —, insbesondere seiner tropischen Gebiete (Bespr.). S. 159.
- Afrikanische Ortsnamen, Internationale Liste —. S. 360.
- Afrikanisches Regenwaldgebiet. S. 355.
- Age and Area (Bespr.). S. 995.
- Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte der Preussischen —. S. 188.
- Akademie der Wissenschaften in Wien, Sitzungsberichte der —. S. 792.
- Akustische Tiefenmessung. S. 359.
- Alge, Hydra und — in neuer Zellsymbiose (W. Goetsch). S. 202.
- Morphologie und Biologie der — (Bespr.). S. 924.
- Alkaloide, Über die Wirkung von — auf Insekten (Hippobosciden). S. 210.
- Alkohol und Nachkommenschaft. S. 1058.
- und Zahlenverhältnis der Geschlechter bei einer getrenntgeschlechtigen Pflanze (Melandrium) (C. Correns). S. 1049.
- Alkoholverbot, Das — der Vereinigten Staaten von Nordamerika. S. 848.
- Alpen, Die jüngsten Hebungen der —. S. 582.
- Alpha Particles and Electrons, The Chemical Effects of — (Bespr.). S. 504.
- Altern, Lebensdauer, —, Tod (Bespr.). S. 281.
- Altersverhältnisse der herzynischen und rheinischen Dislokationen. S. 162.
- Aluminiumlegierungen, Über einige —. S. 1108.
- Amazonien, Die Jahrhundertfeier-Expedition der Indiana-Universität in das peruanische —. S. 1135.
- American Astronomical Society. S. 312.
- Museum of National History, Die letzten Jahresberichte des —. S. 749.
- Amerikanische Völker, Die Vitalität der —. S. 847.
- Ammoniak, Über die Darstellung des — aus Stickstoff und Wasserstoff (Fritz Haber). S. 1041.
- Ammoniakverfahren, Zur Geschichte des — (Zuschrift). S. 660.
- Ammoniten, Über die Lebensweise und das Aussterben der — (S. v. Bubnoff). S. 687.
- Anatomische Vorschriften, Die — für den bildenden Künstler in Leonardo da Vincis Traktat von der Malerei (C. Elze). S. 1065.
- Anden, Neue physiologische Untersuchungen über das Leben in den — (A. Loewy). S. 920.
- Anophelesplage und Kaninchenzucht. S. 455.
- Anorganische Chemie, Lehrbuch der — (Bespr.). S. 791.
- Antarktis, Das Eis der — und der subantarktischen Meere (Bespr.). S. 205.
- Antarktische Expedition, Ozeanographische Arbeiten der Deutschen —. S. 353.
- Araceenblütenstände, Zum Wärmephänomen der —. S. 949.
- Archaeopteryx, Über das Becken, den Schultergürtel und einige andere Teile der Londoner —. S. 723.
- Area, Age and — (Bespr.). S. 995.
- Argentinische Gebirge, Forschungsreisen in den —. S. 354.
- Arrhythmie des Herzschlages (C. J. Rothberger). S. 1096, 1116.
- Artbastarde, Über die — und die Vererbung ihrer Kennzeichen. S. 723.
- Artproblem, Symbiose und — bei Hydra (Wilhelm Goetsch). S. 867.
- Arzneimittel, Gewöhnung an — und Gifte. S. 455.
- Ascaris. Eine Einführung in die Wissenschaft vom Leben für Jedermann (Bespr.). S. 676.
- Astronomische Miniaturen (Bespr.). S. 691.
- Astronomical Society, American —. S. 312.
- Astronomie, Populäre — (Bespr.). S. 327.
- Praktische — (Bespr.). S. 44.
- Astronomische Arbeiten, Neue —. S. 239.
- Festlegung des Trägheitssystems (Julius Bauschinger). S. 1005.
- Konstanten, Bestimmung und Zusammenhang der —. S. 287.
- Nachrichten, Jubiläumsnummer zum hundertjährigen Bestehen der —. S. 63.
- Astronomisches Handbuch (Bespr.). S. 43.
- Astroobjektive, Über die Bildgüte von —. S. 24.
- Astrophysik (Bespr.). S. 843.
- Atlantischer Ozean, Die ozeanische Zirkulation mit besonderer Berücksichtigung des —. S. 352.
- Atmosphärische Einflüsse auf die drahtlose Telegraphie. S. 1111.
- Atmosphärische Vorgänge, Über die Polarfronttheorie nach Bjerknes und die neueren Anschauungen von den — (Erich Kuhlbrodt). S. 495.
- Atmospheric and solar lines, An investigation of the constancy in wave-length of the —. S. 726.
- Atmungspathologie und Therapie (Bespr.). S. 1132.
- Atomarten (Otto Hahn), s. Atomgewichtskommission. S. 934.
- Atombau, Drei Aufsätze über Spektren und — (Bespr.). S. 844.
- Laue-Interferenzen und — (P. Debye). S. 384.
- Atome, Über die Kernstruktur der —. S. 234.
- Atomgewichtsfragen (R. J. Meyer). S. 911.
- Atomgewichtskommission, Über die von der Deutschen — herausgegebene Tabelle der „Chemischen Elemente und Atomarten“ (Otto Hahn). S. 934.
- Atomistik, Mach und die — (Zuschr.). S. 230, 231.
- Atomkerne, Frage nach der Stabilität der —. S. 617.
- Atomtheorie, Fluoreszenz und Phosphoreszenz im Lichte der neueren — (Bespr.). S. 722.
- Aufbau metallisch leitender Stoffe (Ludwig Ebert). S. 964.
- Aufreißen (season cracking), s. Kupferlegierungen. S. 1079.
- Auge, Verkupferung des —. S. 696.

- Augenfarbe, Versuche über die Vererbung der — beim Menschen. S. 877.
- Augenspiegel, Der — und die ophthalmologische Diagnostik (Bespr.). S. 842.
- Außenwelthypothese, Der mathematische Kern der (Karl Gerhards). S. 423, 446.
- Australien, Neue Funde fossiler Menschenreste in Südafrika und — (O. Abel). S. 313.
- Autostroboskop, Ein — und ein Glühfadenfarbengkreis. S. 615.
- Bachstelze, weiße, Verbreitung und geographische Variation der —. S. 58.
- Bakterien, Zur Frage nach dem Vorkommen von Befruchtungsvorgängen bei — (Heinz Potthoff). S. 441.
- Baltistan, Wissenschaftliche Expedition durch —, Ladak und Ost-Turkestan während der Jahre 1913 und 1914. S. 746.
- Bandenserien, Die Numerierung der Linien von — (Zuschr.). S. 282, 283.
- Barentsmeer, Untersuchungsfahrt des Reichsforschungsdampfers „Poseidon“ in das — im Juni und Juli 1913. S. 1060.
- Basisentfernungsmesser, Der 30-m. — von Barr und Stroud. S. 848.
- Bayern, Erdbeben in — 1908/1920. S. 360.
- Befruchtungsvorgänge, Zur Frage nach dem Vorkommen von — bei Bakterien (Heinz Potthoff). S. 441.
- Über die — bei homosporen Farnen. S. 435.
- Beizenfarbstoffe, Über die neuen Methoden S. Bechers zur Echtfärbung der Zellkerne mit künstlichen — (Benno Romeis). S. 733.
- Beton, Die elektrohygienische Wertung des —. S. 891.
- Bevölkerung, Die Verteilung der — in Mexiko. S. 698.
- Bevölkerungspolitik unter den Eingeborenen Afrikas. S. 262.
- Bienen, Vom Hören der — (Bespr.). S. 602.
- (Apidae), Die europäischen — (Bespr.). S. 1132.
- Bjerknes, Über die Polarfronttheorie nach — und die neueren Anschauungen von den atmosphärischen Vorgängen (Erich Kuhlbrodt). S. 495.
- Bildgüte, Über die — von Astroobjektiven. S. 24.
- Biochemische Bedeutung, Die — der organischen Quecksilberverbindungen (W. Schoeller). S. 1071.
- Biologie (Leon Asher) s. Physikalische Chemie. S. 193.
- der Raben. S. 534.
- Theoretische — und biologisches Weltbild (Leon Asher). S. 473.
- Biologische Anstalt, Über die Errichtung eines Zweiglaboratoriums der — in List auf Sylt (Zuschrift). S. 284.
- Gesellschaft zu Leipzig: Die Bedeutung der Gefäßwandzellen für die Zellbildung. S. 1132.
- Studien über die Utriculariablase. S. 876.
- Blackmannsche Theorie, Die Kritik der — der begrenzenden Faktoren bei der Kohlensäureassimilation. S. 662.
- Blasenfunktion, Untersuchungen über die Physiologie und Pathologie der —. S. 697.
- Blaurake, Entwicklung der —, des Hühnerhabichts und der Schleiereule. S. 58.
- Blüten, Ist das Hangen der — eine Schutzeinrichtung? S. 875.
- Bodenfauna und Fischertrag in Seen. S. 724.
- Bor, Verbindungsgewicht des —. S. 616.
- Botanisches Praktikum (Bespr.). S. 260.
- Brandenburg, Neue geologische Übersichtskarte der Provinz —. S. 162.
- Brasilien, Aus der Tier- und Pflanzenwelt —. S. 238.
- , Die Entschleierung des Innern von —. S. 1135.
- Brauer, Das mikroskopische Praktikum des — (Bespr.). S. 42.
- Braunkohlen (K. Kegel), s. Kohlen. S. 855, 882.
- Brille, Die Entwicklung der —. S. 284.
- Die — als optisches Instrument (Bespr.). S. 17.
- Brocken, Lufttrockenheit auf dem — im November und Dezember 1921. S. 516.
- Bromeliaceen, Die Samen der — in ihrer Anpassung an den Epiphytismus. S. 662.
- Bunsengesellschaft, Hauptversammlung der Deutschen —. S. 1052.
- 1 Carinae, Wave lengths and periodic changes of spectral type in the variable Star —. S. 64.
- Centrospermenast, Serodiagnostische Untersuchungen über die Verwandtschaften innerhalb des — des Pflanzenreichs. S. 950.
- δ-Cephei-Veränderlichen, Die periodische Veränderlichkeit des Spektraltypus bei —. S. 487.
- Chalcidide, Über die Biologie einer — (Schlupfwespe). S. 698.
- Charliers Untersuchungen über den Aufbau einer unendlichen Welt (W. E. Bernheimer). S. 481.
- Chemical effects, The — of alpha particles and electrons (Bespr.). S. 504.
- Chemie, anorganische, Lehrbuch der — (Bespr.). S. 791.
- der Enzyme (Bespr.). S. 228.
- Lehrbuch der — (Bespr.). S. 769.
- Organische — (Bespr.). S. 161.
- — Zeittafeln zur Geschichte der — (Bespr.). S. 162.
- der Pflanzenzelle (Bespr.). S. 568.
- physikalische (Leon Asher) s. Physikalische Chemie. S. 193.
- — Grundriß der — (Bespr.). S. 1033.
- physiologische, Kurzes Lehrbuch der — (Bespr.). S. 1014.
- Vorlesungen über die Geschichte der — (Bespr.). S. 909.
- Chemiker-Kalender 1922 (Bespr.). S. 329.
- Chemische Elemente (Otto Hahn), s. Atomgewichts-kommission. S. 934.
- Chirurgische Behandlung der Lungentuberkulose (Alfred Brunner). S. 289.
- Chromatium, Entwicklungsgeschichte der Gattungen — und Spirillum. S. 187.
- Chromosomen, Das verschiedene Verhalten der — in Eireifung und Samenreifung von *Lymantria monacha* L. S. 1060.
- Chrysomonaden, Die Übereinstimmung zwischen Diatomeen, Heteroconten und —. S. 661.
- Chubut, Forschungen im argentinischen Territorium —. S. 1136.
- Corti, Alfonso, Zum hundertsten Geburtstage — (Josef Schaffer). S. 537.
- Crab-Nebel, Die innere Bewegung im —. S. 821.
- Cuckoo's Secret (Bespr.). S. 743.
- Culture, The evolution and distribution of race, — and language. S. 894.
- Damascener Stahl. S. 166.
- Dampfwagen. S. 618.
- Dana-Expedition, Die dänische —. S. 21.
- Darmflora des Menschen. S. 661.
- Deformation, Lotschwankung und — der Erde durch Flutkräfte. S. 358.



- Deszendenzlehre (Entwicklungslehre) (Bespr.). S. 789.  
 Deutsches Reich, 40 Blätter der Karte des — 1:100 000 (Bespr.). S. 872.  
 Diaphanoskop, Ein neues —. S. 336.  
 Diatomeen, Die Übereinstimmung zwischen —, Heteroconten und Chrysomonaden. S. 661.  
 Dichteverteilung, Die räumliche — im Sternsystem (Hans Kienle). S. 679.  
 Dinoflagellata, The free-living unarmored — (Bespr.). S. 432.  
 Dislokationen, Altersverhältnisse der herzynischen und rheinischen —. S. 162.  
 Domestikationsproblem, Studien zum —. Untersuchungen am Hirn (Bespr.). S. 281.  
 Doppelsterne, Die Massen der —. S. 1063.  
 Drang und Zwang, eine höhere Festigkeitslehre für Ingenieure (Bespr.). S. 228.  
 Draperiewälder in Hawai. S. 700.  
 Dressurversuche, Über die Bildung einer Assoziation beim Regenwurm auf Grund von —. S. 603.  
 Duralumin. S. 235.  
 Durstempfindung, s. Wasserhaushalt (C. Oehme). S. 154.  
 Echtfärbung, Über die neuen Methoden S. Bechers zur — der Zellkerne mit künstlichen Beizenfarbstoffen (Benno Romeis). S. 733.  
 Ehrlich, Paul — (Bespr.). S. 909.  
 Eibenreste, Subfossile — in Schleswig-Holstein. S. 876.  
 Eigröße, Verhältnis der — zur Körpergröße des Vogels. S. 1061.  
 Einstein, Mathematische Einführung in die Gravitationstheorie — (Bespr.). S. 946.  
 Einstein-Film, Zum — (Zuschr.). S. 434.  
 Einsteinsche Gravitationstheorie (Bespr.). S. 945.  
 Eis, Das — der Antarktis und der subantarktischen Meere (Bespr.). S. 205.  
 Eisen, Wie kommt es, daß die Erde zum überwiegenden Teil aus — besteht (Zuschr.). S. 260.  
 — Die Frage der  $\beta$ -Modifikation und die mechanischen Eigenschaften des —. S. 486.  
 — Das Schweißen von — mit Hilfe von Kupfer. S. 311.  
 — Röntgenkristallographische Untersuchungen an — und Stahl. S. 484.  
 Eiweißkörper, Über physiologische Umformung von — (Albrecht Kossel). S. 999.  
 Eiweißspaltende Enzyme, Über künstliche Spezifizierung von — (Zuschr.). S. 20.  
 Electrons, The chemical effects of alpha particles and — (Bespr.). S. 504.  
 Elektrische Lokomotive. S. 536.  
 Elektrizität, Handbuch der — und des Magnetismus (Bespr.). S. 1129, 1130.  
 Elektrochemie wässriger Lösungen (Bespr.). S. 469.  
 Elektrohygienische Wertung des Betons. S. 891.  
 Elektron, der Streit um das — (R. Bär). S. 322, 344. — (Zuschr.). S. 980.  
 Elektronenstoß (Zuschr.), s. Ionen. S. 1014.  
 Elektronenstrahlen, Die Lichtgeschwindigkeit in —. S. 165.  
 Elementarmathematik, Geschichte der — (Bespr.). S. 1014.  
 — Geschichte der — in systematischer Darstellung, mit besonderer Berücksichtigung der Fachwörter (Bespr.). S. 45.  
 Embryonalentwicklung, Über die Rolle von Kern und Plasma bei der — (Andreas Penners). S. 727, 761.  
 Embryosackentwicklung, Heterogamie im weiblichen Geschlecht und — bei den Oenotheren. S. 436.  
 Emmentaler Käse, s. Lochbildung. S. 211.  
 Encephalitisvirus, Beweise für das Vorhandensein gesunder Träger des —. S. 456.  
 Energieumsatz, Über den — bei der Kohlensäureassimilation (Otto Warburg und Erwin Negelein). S. 647.  
 Energieverteilung im Spektrum. S. 23.  
 Entfernung, Über die — bis zu der sich die Verteilung der Sterne im Raume mit einiger Sicherheit bestimmen läßt. S. 822.  
 Entfernungsbestimmungen, Die Grundlagen der Shapleyschen —. S. 853.  
 Entomologie, Handbuch der — (Bespr.). S. 43.  
 Entomophilie bei Laubmoosen. S. 60.  
 Entschädigungsgesetz, Teilweiser Verlust des erblichen Sehens nach dem — im Staate New York. S. 696.  
 Entschwefelung des Gußeisens nach dem Verfahren von Wather. S. 167.  
 Entwicklungsbeschleunigung, Zellentartung und — (Zuschr.). S. 773.  
 Entwicklungsgeschehen, tierisches, Über die Harmonie des — (Leopold von Ubisch). S. 271.  
 Entwicklungsgeschichte der Gattungen Chromatium und Spirillum. S. 187.  
 — Neue Lehrbücher der —. S. 439.  
 — Die Zweckmäßigkeit in der — (Bespr.). S. 39.  
 Entwicklungsstufen, Über die ersten — des Menschen (W. v. Moellendorff). S. 663.  
 Enzyme, Chemie der — (Bespr.). S. 228.  
 — eiweißspaltende, Über künstliche Spezifizierung von — (Zuschr.). S. 20.  
 — als Kolloide (W. M. Bayliss). S. 983.  
 Epiphytismus, Die Samen der Bromeliaceen in ihrer Anpassung an den Epiphytismus. S. 662.  
 Erblchkeitslehre, menschliche, Mendelforschung und — (Eugen Fischer). S. 640.  
 Erdbeben in Bayern 1908/1920. S. 360.  
 Erdbebendienst, Jahresbericht des Schweizerischen — 1919. S. 359.  
 Erde, Wie kommt es, daß die — zum überwiegenden Teil aus Eisen besteht? (Zuschr.) S. 260.  
 — Der innere Kräftehaushalt der — (S. v. Bubnoff). S. 782, 806.  
 — Lotschwankung und Deformation der — durch Flutkräfte. S. 358.  
 Erdinnere (V. M. Goldschmidt), s. Massenverteilung. S. 918.  
 Erdkunde, Gesellschaft für — zu Berlin: Die Viehzucht auf der südlichen Halbkugel. S. 47.  
 — Mehr Geographie in der Schule. S. 144.  
 — Die Kunst der Steinzeit in Neu-Guinea. S. 144.  
 — Reisen in Patagonien und Peru. S. 351.  
 — Die ozeanische Zirkulation mit besonderer Berücksichtigung des Atlantischen Ozeans. S. 352.  
 — Ozeanographische Arbeiten der Deutschen Antarktischen Expedition. S. 353.  
 — Neue Staatenbildungen in Vorderasien. S. 353.  
 — Forschungsreisen in dem argentinischen Gebirgen. S. 354.  
 — Das Afrikanische Regenwaldgebiet. S. 355.  
 — Das Leben der Wüste in Südwestafrika. S. 582.  
 — Die jüngsten Hebungen der Alpen. S. 582.  
 — Der augenblickliche Zustand unserer Kolonien. S. 583.

- Erdkunde, Gesellschaft für — zu Berlin: Der spanische Nationalcharakter in seinen Beziehungen zum Wirtschaftsleben. S. 583.  
 — Bau und Bild von Südwestafrika. S. 745.  
 — Wissenschaftliche Expedition durch Baltistan, Ladak und Ost-Turkestan während der Jahre 1913 und 1914. S. 746.  
 — Begriff des Naturgebietes in seiner Anwendung auf die politische Geographie. S. 747.  
 — Forschungsreise nach den Südmolukken. S. 748.  
 — Die neue Gebietseinteilung der russischen Republik. S. 814.  
 Erdoberfläche (B. Brandt), s. Geomorphologische Restformen. S. 1103.  
 Erdwurzeln mit Velamen. S. 875.  
 Ergrauen der Haare, Einiges aus der neueren Pigmentforschung, speziell über das —. S. 437.  
 Erkenntnis a priori, Relativitätstheorie und — (Bespr.). S. 873.  
 Erkenntnistheorie, Geschichte der neueren — (Bespr.). S. 873.  
 Europa, Entfernt sich Grönland von —? S. 167.  
 Experimentalzoologie, Methodik der — (Bespr.). S. 278.  
**Fällungserscheinungen**, Rhythmische — in pflanzlichen Zellmembranen. S. 436.  
 Färbung der Säugetiere, Neuere Arbeiten über die — (Felix Pinkus). S. 951.  
 Farbenchemie, Handbuch der — (Bespr.). S. 845.  
 Farbenlehre, Die — (Bespr.). S. 503.  
 — Die Grundlage der messenden — (Bespr.). S. 908.  
 Farbstoffe, Die wasserlöslichen — der Schizophyceen. S. 435.  
 Farne, homospore, Über die Befruchtungsvorgänge bei —. S. 435.  
 Feinbaustudien, Röntgenographische — (Bespr.). S. 18.  
 Fermentproblem, Das — (Bespr.). S. 1013.  
 Fernrohre, Die — nach Kepler und nach Galilei — ein Vergleich (A. Sonnefeld). S. 653.  
 Festigkeit, Technische — und molekulare Festigkeit (Adolf Smekal). S. 799.  
 Fische, Über Nahrung und Wachstum der —. S. 724.  
 Fischerei, Die Naturwissenschaft im Dienste der — (Paulus Schiemenz). S. 224.  
 Fischertrag, Bodenfauna und — in Seen. S. 724.  
 Fixsterne, Die Beziehung zwischen der absoluten Helligkeit von — und deren räumlicher Geschwindigkeit. S. 471.  
 Fixsternsystem, Kapteyns Versuch einer dynamischen Auffassung des —. S. 821.  
 Fließen des Metalls beim Warmpressen und Hämmern. S. 617.  
 Flora, Illustrierte — von Mitteleuropa (Bespr.). S. 1131.  
 Fluchtlinienkunst, Die Nomographie oder — (Bespr.). S. 1131.  
 Flüssigkeitsübersetzungsgetriebe von Lentz. S. 168.  
 Flug, Über den motorlosen — (Th. von Kármán). S. 121.  
 Flugformen, Die — der Zugvögel. S. 58.  
 Flugzeugaufstiege, Aerologische — in Adlershof. S. 615.  
 Fluoreszenz und Phosphoreszenz im Lichte der neuen Atomtheorie (Bespr.). S. 722.  
 Flutkräfte, Lotschwankung und Deformation der Erde durch —. S. 358.  
 Formbildung, Untersuchungen über die — der Tiere (Bespr.). S. 57.  
 Formenkunde, Vergleichende biologische — der fossilen niederen Tiere (Bespr.). S. 255.  
 Formosa, Die Wälder —. S. 1135.  
 Forstinsektenkunde (Bespr.). S. 924.  
 Frösche, Vererbung des Geschlechts bei den —. S. 1059.  
 Fröste am Erdboden in Norddeutschland. S. 59.  
 Fundamentalsterne, Festlegung der —. S. 239.  
 Funkentelegraphie, Grundriß der — in gemeinverständlicher Darstellung (Bespr.). S. 813.  
**Garagen**, geschlossene, Kohlenoxydvergiftung in —. S. 698.  
 Gase, Wirkung reduzierender — auf erhitztes Kupfer. S. 487.  
 Gasgehalt, Über den — des Wassers im Hemmeldorfer See bei Lübeck. S. 307.  
 Gasmoleküle, Eine neue Methode zur Bestimmung des Durchmessers von —. S. 164.  
 Gefäßwandzellen, Die Bedeutung der — für die Zellbildung. S. 1132.  
 Gefiederfärbung, Sprungvariationen in der — einiger Vogelarten. S. 356.  
 —, Die Abhängigkeit der — von klimatischen Einflüssen. S. 1133.  
 Gefriereier. S. 698.  
 Gehörorgan, Iontentheorie der Reizung des —. S. 774.  
 Geisteswissenschaften und Naturwissenschaften (Bespr.). S. 1010.  
 Genesis, Das Problem der — des Actiniums (Besprechung). S. 209.  
 Genetischer Zusammenhang, Besteht ein — zwischen dem eingeatmeten Sauerstoff und dem Sauerstoff der ausgeatmeten Kohlensäure (Torsten Thunberg)? S. 417.  
 Geobotanische Untersuchungsmethoden (Bespr.). S. 692.  
 Geographie, politische, Begriff des Naturgebietes in seiner Anwendung auf die —. S. 747.  
 — Mehr — in die Schule. S. 144.  
 Geologenversammlung, Die Deutsche — in Breslau vom 29. Juli bis 9. August 1922. S. 816.  
 Geologie, Allgemeine — und Stratigraphie (Besprechung). S. 659.  
 — Lehrbuch der — (Bespr.). S. 658.  
 — Lehrbuch der praktischen — (Bespr.). S. 208.  
 Geologische Forschung, Der gegenwärtige Stand der — (S. v. Bubnoff). S. 782, 806.  
 — Gesellschaft, Deutsche — zu Berlin. Altersverhältnis der herzynischen und rheinischen Dislokationen. S. 162.  
 — Neue Übersichtskarte der Provinz Brandenburg. S. 162.  
 — Südamerikanische Minerallagerstätten. S. 231.  
 — Übersichtskarte der Provinz Brandenburg. S. 162.  
 — Studien an Rinnen und Sanderflächen in Norddeutschland. S. 695.  
 — Karten und Profile, Wie sind — zu verstehen und praktisch zu verwerten? (Bespr.). S. 873.  
 Geomorphologische Restformen und ihre Bedeutung für die Abtragung der Erdoberfläche (B. Brandt). S. 1103.  
 Geophysikalisches Institut, Ein neues —. S. 308.  
 Geruchssinn, Über den Sitz des — bei Insekten. S. 454.  
 Gesang des wilden Kanarienvogels. S. 59.  
 — Von dem Einfluß des Wetters auf den — der Vögel. S. 286.



- Geschlechtsverhältnis, Über experimentelle Verschiebung des —. S. 60.
- Geschmack, charakteristischer. s. Lochbildung. S. 211.
- Gesundheitliche Verhältnisse in Mexiko, allgemein geographisch betrachtet. S. 263.
- Gesundheitsschädlichkeit der Magnet-Wechselfelder (Zuschr.). S. 434.
- Getreide, Die Phylogenie der — (Elisabeth Schiemann). S. 133.
- Gewichtsverhältnisse, Zahlen- und — bei einigen heterostylen Pflanzen. S. 61.
- Gifte, Gewöhnung an Arzneimittel und —. S. 455.
- Glanz, Die Messung des — von Papier und ähnlichen Flächen. S. 697.
- Die Entstehung des physiologischen Eindruckes des — (Zuschr.). S. 791, 1056.
- Glas, optisches, Die Fabrikation von —. S. 309.
- — Zur Geschichte des —. S. 773.
- Über den Polymorphismus und die optische Kühlung des —. S. 310.
- Glasblasen, Anleitung zum — (Bespr.). S. 229.
- Glasoberflächen, Über die Struktur geschliffener und polierter —. S. 517.
- Glazialkosmogonie, Über Hörbigers — (A. Prey). S. 585.
- Gliedmaßenpfeifungen, Neuere Ergebnisse der —: Umwandlung eines rechten Beines in ein linkes (Hermann Braus). S. 457, 477.
- Glucoside, Über die Bildung der — (Max Bergmann). S. 838.
- Glühfadenfarbenkreisel. Ein Autostroboskop und ein —. S. 615.
- Graphische Papiere und ihre vielseitige Anwendung (Bespr.). S. 258.
- Grauempfindung. S. 23.
- Gravitationstheorie, Die Einsteinsche — (Bespr.). S. 945.
- Mathematische Einführung in die — Einsteins (Bespr.). S. 946.
- Gravity and pressure of radiation. S. 64.
- Grönland, Entfernt sich — von Europa? S. 167.
- Gültigkeitsbereich, Zum — der Naturgesetze (W. Nernst). S. 489.
- Guß Eisen, Entschwefelung des — nach dem Verfahren von Walther. S. 167.
- Haare, Einiges aus der neueren Pigmentforschung, speziell über das Ergrauen der —. S. 437.
- Haarkleid, Neue Befunde zur Entstehung des — der Säugetiere (Felix Pinkus). S. 521.
- Haarstrich, Morphologie und Morphogenese des —. S. 210.
- Haemophagie und Symbiose (Paul Buchner). S. 703.
- Hangen der Blüten, Ist das — eine Schutz Einrichtung? S. 875.
- Hann, Julius von — (R. Süring). S. 49.
- Haptotropismus, Über das Resultantengesetz beim —. S. 874.
- Harmonie, Über die — des tierischen Entwicklungs geschehens (Leopold von Ubisch). S. 271.
- Haut, s. Pigmente. S. 603.
- Hawai, Die Draperiewälder in —. S. 700.
- Hefezelle, Studien über die Funktionen der —. S. 892.
- Helium, metastabiles, Bildung und Lebensdauer des —. S. 851.
- Helligkeit, absolute, Die Beziehung zwischen der — von Fixsternen und deren räumlicher Geschwindigkeit. S. 471.
- Helligkeit, — Absolute — und Spektraltypus. (Russell-Diagramm). S. 878.
- Helmholtz als Meteorologe. (R. Wenger †). S. 198.
- Hemmelsdorfer See, Über den Gasgehalt des Wassers im — bei Lübeck. S. 307.
- Herznervenwirkung, Über humorale Übertragbarkeit der — (O. Loewi). S. 52.
- Herzschlag, Die Unregelmäßigkeit (Arrhythmie) des — (C. J. Rothberger). S. 1096, 1116.
- Herztätigkeit, Über die mechanischen Probleme der — (E. Lüscher). S. 34.
- Heteroconten, Die Übereinstimmung zwischen Diatomeen, — und Chrysomonaden. S. 661.
- Heterogamie im weiblichen Geschlecht und Embryosackentwicklung bei den Oenotheren. S. 436.
- Hieracien, Die rheinischen —. S. 435.
- Hilbert, David — (Otto Blumenthal). S. 67.
- Der Algebraiker Hilbert (O. Toeplitz). S. 73.
- geometrisches Werk (M. Dehn). S. 77.
- als Analytiker (R. Courant). S. 83.
- und die Physik (M. Born). S. 88.
- Die Bedeutung Hilberts für die Philosophie der Mathematik (Paul Bernays). S. 93.
- Verzeichnis der bisherigen Publikationen von David Hilbert nebst kurzen Inhaltsangaben (Karl Siegel). S. 99.
- Himmelselligkeit, Pyrometrische Messungen der —. S. 186.
- Himmelsraum, Der blaue — ist in Wirklichkeit blendend goldig bei Tag, silbern bei Nacht (Wilhelm Roux). S. 152.
- Hirn, Untersuchungen am — (Bespr.). S. 281.
- Höchstspannungen, Kraftübertragung mit —. S. 231.
- Hörbigers Glazialkosmogonie (A. Prey). S. 585.
- Welteislehre, Bemerkungen zu Preys Kritik über — (Zuschr.). S. 995.
- Hören, Vom — der Insekten (Bienen). (Zuschr.). S. 602.
- Die Resonanztheorie des — (E. Waetzmann). S. 542.
- Hörsamkeitsstudien, Über — (E. Michel). S. 420.
- Hokkaido, das japanische Nordland. S. 263.
- Hühnerhabicht, Entwicklung des —. S. 58.
- Hund, Über das Lichtunterscheidungsvermögen des —. S. 551.
- Hydra und Alge in neuer Zellsymbiose (W. Goetsch). S. 202.
- Symbiose und Artproblem bei — (Wilhelm Goetsch). S. 867.
- Hydrographische und hydrobiologische Arbeiten in Rußland. S. 308.
- Hydrotropische Krümmungen, Wachstumsschwankungen und — bei *Phycomyces nitens*. S. 436.
- Jäger, Ornithologisches Taschenbuch für — und Jagdfreunde (Bespr.). S. 209.
- Jagd, Die — der Vorzeit (Bespr.). S. 301.
- Jahresberichte, Die letzten — des American Museum of Natural History. S. 749.
- Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde (W. Fraenkel). S. 997.
- Jahrhundertfeier-Expedition der Indiana-Universität in das peruanische Amazonien. S. 1135.
- Japan, Die Klimazonen —. S. 262.
- Inbreeding and Outbreeding, their genetic and sociological significance (Bespr.). S. 42.
- Inlandeis, Zur Erforschung des westpatagonischen —. S. 1136.
- Insekten (Bienen) Vom Hören der — (Zuschr.). S. 602.

- Insekten (Hippobosciden), Über die Wirkung von Alkaloiden auf —. S. 210.
- Über den Sitz des Geruchsinnes bei —. S. 454.
- Interferometer, The wave-length in astronomical — measurements. S. 725.
- Interferometrie, Die Anwendung der — auf biologische Probleme (Paul Hirsch). S. 525.
- Interocular distance. S. 213.
- Ionen, Über eine Methode zur Bestimmung der Natur der durch den Stoß langsamer Elektronen gebildeten — (Zuschr.). S. 1014.
- Ionenbeweglichkeit, Raumerfüllung und — (Bespr.). S. 468.
- Ionentheorie der Reizung des Gehörorgans. S. 774.
- Ionisation der Elemente in der Sonnenatmosphäre und in den Sonnenflecken. S. 877.
- Isolatoren, feste (Zuschr.). s. Temperatur. S. 1057.
- Jubiläumsnummer zum hundertjährigen Bestehen der Astronomischen Nachrichten. S. 63.
- Kälte, Grenze der Widerstandsfähigkeit gegen — bei den Raupen von *Cossus cossus*. S. 847.
- Kaiserin Auguste-Viktoria-Fluß-Expedition in den Jahren 1912/13. S. 1134.
- Kalender, Ein — über 30 000 Jahre. S. 535.
- Kanarienvogel, Gesang des wilden —. S. 59.
- Kaninchen, Untersuchungen über die spontane Spirochätose des —. S. 456.
- Kaninchenzucht, Anophelesplage und —. S. 455.
- Kapteyn, J. C., und sein astronomisches Werk (A. Pannekoek). S. 967.
- Karboxylasewirkung, Zymasewirkung und —. S. 892.
- Karte des Deutschen Reiches, 40 Blätter (Bespr.). S. 872.
- Karten und Profile (Bespr.). s. Geologische Karten und Profile. S. 873.
- Kartenwerke, Neue amtliche —. S. 45, 750, 819, 1136.
- Kartenwissenschaft (Bespr.). S. 871.
- Kartierung Oberschwabens um die Wende des 18. Jahrhunderts (Bespr.). S. 873.
- Kausalitätsbegriff, Zur Krisis des — (Zuschr.). S. 693, 982.
- Keimwurzeln, Ein Spiegelaluxanometer für —. S. 335.
- Kern und Plasma, Über die Rolle von — bei der Embryonalentwicklung (Andreas Penners). S. 727, 761.
- Kernstruktur, Über die — der Atome. S. 234.
- Kernteilungen, Über Abhängigkeit der — von äußeren Faktoren. S. 438.
- Kernzahl, Pollenkörner mit vermehrter —. S. 950.
- Kitâb ab hijal, Über das — das Werk der sinnreichen Anordnungen — der Benû Mûsâ (Besprechung). S. 691.
- Kleidermotte (*Tineola biselliella*), Beiträge zu einer Monographie der — (Bespr.). S. 923.
- Klimaperioden, Beiträge zur Aufsuchung kosmischer Grundlagen von —. S. 614.
- Klimazonen Japans. S. 262.
- Körpergröße, Verhältnis der Eigröße zur — des Vogels. S. 1061.
- Körperstellung, Otolithenfunktion und — (R. Magnus). S. 927.
- Kohle und Quarz. s. Phagocytose. S. 212.
- Die Entstehung des Torfes und der — (Hans Höfer von Heimhalt). S. 113.
- Aufbereitung und wirtschaftliche Verwendung der —, insbesondere der Braunkohlen (K. Kegel). S. 855, 882.
- Kohlenoxydvergiftung in geschlossenen Garagen. S. 698.
- Kohlensäure, s. Genetischer Zusammenhang (Torsten Thunberg). S. 417.
- Kohlensäureassimilation, Kritik der Blackmannschen Theorie der begrenzenden Faktoren bei der —. S. 662.
- Über den Energieumsatz bei der — (Otto Warburg und Erwin Negelein). S. 647.
- Koleoptile von *Avena sativa*, s. Schwerereiz. S. 891.
- Kolloide, Enzyme als — (W. M. Bayliss). S. 983.
- Kolonien, Der augenblickliche Zustand unserer —. S. 583.
- Kolumbien, Volkszählung in —. S. 1136.
- Kometenerscheinung vom 7. und 8. August. S. 215.
- Kosmische Absorption und Dispersion des Lichtes. S. 471.
- Grundlagen, Beiträge zur Aufsuchung — von Klimaperioden. S. 614.
- Kräftehaushalt, Der innere — der Erde (S. v. Bubnoff). S. 782, 806.
- Kraftübertragung mit Höchstspannungen. S. 231.
- Kreislauf, Die Physiologie des — (Bespr.). S. 160.
- Kristallanordnungen, Röntgenographische Bestimmung von — (M. Polanyi). S. 411.
- Kristalle, Die — als Vorbilder des feinbaulichen Wesens der Materie (Bespr.). S. 19.
- Wachstum und Auflösung von — (G. Masing). S. 899.
- Kristallographie, Die Bedeutung des Luediagramms für die — (Paul Niggli). S. 391.
- Kruppscher nichtrostender Stahl V 2 A. S. 166.
- Kuckuck, Neues vom — (Fritz Braun). S. 183.
- Kugelförmige Sternhaufen, Die Entfernung der —. S. 552.
- Kulturpflanzen, Georg Schweinfurths Forschungen über die Geschichte der — (H. Harms). S. 1113.
- Kupfer, erhitztes, Wirkung reduzierender Gase auf —. S. 487.
- Das Schweißen von Eisen mit Hilfe von —. S. 311.
- Kupfererzeugung der Erde während der letzten 120 Jahre. S. 264.
- Kupferlegierungen, Das Aufreißen von kaltgereckten —. S. 1079.
- Ladak, s. Baltistan. S. 746.
- Laichgebiet, Das — des Aales. Bericht über die Arbeit von Dr. Joh. Schmidt (Kopenhagen): The Breeding Places of the Eel (Rudolf Drost). S. 1089.
- Language, The evolution and distribution of race, culture and —. S. 894.
- Laubmoose, Entomophilie bei —. S. 60.
- Laue, M. v.
- Die Geschichte der Auffindung der Röntgenstrahlinterferenzen (W. Friedrich). S. 363.
- Zehn Jahre Röntgenspektroskopie (Paul Knipping). S. 366.
- Bericht über neuere Ergebnisse der Röntgenspektroskopie (Gregor Wentzel). S. 369.
- Über die Wellenlänge der  $\gamma$ -Strahlen (Lise Meitner). S. 381.
- Laue-Interferenzen und Atombau (P. Debye). S. 384.
- Die Bedeutung des Luediagramms für die Kristallographie (Paul Niggli). S. 391.
- Beiträge zur Auswertung der Luediagramme (E. Schiebold). S. 399.



- Laue, M. v., Röntgenographische Bestimmung von Kristallanordnungen (M. Polanyi). S. 411.
- Leben, menschliches, s. Nordafrika. S. 261.
- Lebensbilder aus der Tierwelt der Vorzeit (Bespr.). S. 601.
- Lebensdauer, Altern, Tod (Bespr.). S. 281.
- Lebermoose, Über Ruheorgane bei Wasserpflanzen und —. S. 875.
- Lederbereitung, Über die Vorgänge bei der — (E. Stiasny). S. 175.
- Legierungen, Seigerungserscheinungen bei —. S. 817.
- Leuchten, Über das tierische — (Paul Buchner). S. 1, 30.
- Licht, Kosmische Absorption und Dispersion des —. S. 471.
- und Dunkeladaptation bei *Phycomyces nitens*. S. 187.
- Lichtgeschwindigkeit in Elektronenstrahlen. S. 165.
- Lichtunterscheidungsvermögen, Über das — des Hundes. S. 551.
- Lochbildung, Die Ursache der — und des charakteristischen Geschmacks des Emmentaler oder Schweizer Käses. S. 211.
- Lösungen, wässrige, Elektrochemie — (Bespr.). S. 469.
- Lokalisation, Über die — von Schallquellen (H. Hecht). S. 107. — (Zuschr.) S. 329, 330.
- Lokomotivbau, Die Entwicklung des —. S. 168.
- Lokomotive, Eine elektrische —. S. 536.
- Lotschwankung und Deformation der Erde durch Flutkräfte. S. 358.
- Luftfahrt, Wissenschaftliche Gesellschaft für —. S. 750.
- Luftsichten, obere, die internationale Erforschung der —. S. 356.
- Lufttrockenheit auf dem Brocken im November und Dezember 1921. S. 516.
- Lungentuberkulose, Die chirurgische Behandlung der — (Alfr. Brunner). S. 289.
- Lymantria monacha L. s. Chromosomen. S. 1060.
- Mach und die Atomistik (Zuschr.). S. 230, 231.
- Magellansche Wolke, Die Entfernung der —. S. 1063.
- Magnetfeld, Zum allgemeinen — der Sonne (Zuschr.). S. 57.
- (Zuschr.). s. Quantelung. S. 791.
- Magnetik, Moderne — (Bespr.). S. 45.
- Magnetische Felder, Sind die in der Industrie verwendeten — gesundheitsschädlich? S. 213.
- Magnetismus, Handbuch der Elektrizität und des — (Bespr.). S. 1129, 1130.
- Magnet-Wechselfelder, Gesundheitsschädlichkeit der — (Zuschr.). S. 434.
- Maispflanzen, eingeschlechtige, Zur experimentellen Erzeugung —. S. 876.
- Malayischer Archipel, Ein internationales Meeresforschungsinstitut im —. S. 308.
- Malerei (C. Elze), s. Anatomische Vorschriften. S. 1065.
- Masse, träge und schwere, Die Möglichkeit einer Prüfung des Satzes von der Gleichheit der — auf astronomischer Grundlage (Zuschr.). S. 261.
- Massen und Dichten der Sterne. S. 1085.
- Massenverteilung, Über die — im Erdinnern, verglichen mit der Struktur gewisser Meteoriten (V. M. Goldschmidt). S. 918.
- Materie, Die Kristalle als Vorbilder des feinbaulichen Wesens der — (Bespr.). S. 19.
- Mathematische Einführung in die Gravitationstheorie Einsteins (Bespr.). S. 946.
- Mathematischer Kern, Der — der Außenweltshypothese (Karl Gerhards). S. 423, 446.
- Maxwell'sche Theorie, Rubens und die — (G. Hertz). S. 1024.
- Mechanik, Über die gegenwärtige Krise der — (R. v. Mises). S. 25.
- Technische — (Bespr.). S. 810.
- Meeresforschungsinstitut, Ein internationales — im Malayischen Archipel. S. 308.
- Meereskundliche Untersuchungen, Deutsche — in der Nordsee im Sommer 1921. S. 214.
- Meereswellen, Die photographische Messung der —. S. 168.
- Melandrium (C. Correns), s. Alkohol. S. 1049.
- Mendel, Gregor, Etwas über — Leben und Wirken (C. Correns). S. 623.
- Mendelismus, Zwei Jahrzehnte — (Richard Goldschmidt). S. 631.
- Mendelismus und Tierzucht (Hans Nachtsheim). S. 635.
- Mendelforschung und menschliche Erblchkeitslehre (Eugen Fischer). S. 640.
- Mendelsche Gesetze, Die Bedeutung der — für die Pflanzenzüchtung (E. Baur). S. 645.
- Mendelsche Vererbung, Die Grenzen der —. S. 455.
- Menschen, Über die Darmflora des —. S. 661.
- Über die ersten Entwicklungsstufen des — (W. v. Moellendorff). S. 663.
- Menschenfuß, Der — (W. Lubosch). S. 765.
- Menschenreste, fossile, Neue Funde — in Südafrika und Australien (O. Abel). S. 313.
- Merkurperihel (Hans Kienle), s. Planeten. S. 217, 246.
- Metallgegenstände, Prüfung von — mit Hilfe von Röntgenlicht. S. 311.
- Metallisch leitende Stoffe, Der Aufbau — (Ludwig Ebert). S. 964.
- Metallkunde, Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für — (W. Fraenkel). S. 997.
- Metallurgie, Leitfaden der — mit besonderer Berücksichtigung der physikalisch-chemischen Grundlagen (Bespr.). S. 813.
- Metasomatische Prozesse in Silikatgesteinen (V. M. Goldschmidt). S. 145.
- Meteoriten (V. M. Goldschmidt), s. Massenverteilung. S. 918.
- Meteorologe, Helmholtz als — (R. Wenger †). S. 198.
- Meteorologische Gesellschaft, Deutsche — (Berliner Zweigverein): Fröste am Erdboden in Norddeutschland. S. 59.
- Der heiße Sommer 1921. S. 60.
- Pyrometrische Messungen der Himmelsheelligkeit. S. 186.
- Lufttrockenheit auf dem Brocken im November und Dezember 1921. S. 516.
- Untere Grenzwerte dichter Niederschläge. S. 517.
- Das Sichtproblem. S. 517.
- Über den Segelflug. S. 1111.
- Atmosphärische Einflüsse auf die drahtlose Telegraphie. S. 1111.
- Mexiko, Die Verteilung der Bevölkerung in —. S. 698.
- , Die gesundheitlichen Verhältnisse in —, allgemein geographisch betrachtet. S. 263.
- , Die natürlichen Landschaften —. S. 1134.
- Mikrochemie der Pflanze (Bespr.). S. 209.
- Mikroorganismen, Die Anwendung von Reinkulturen der — in Industrie und Landwirtschaft (Otto Rahn). S. 241.
- Mikroskopisches Praktikum des Brauers (Bespr.). S. 42.

- Milchstraße, Neue Darstellungen der —. S. 119.  
 Milchstraßensystem, Die räumliche Ausdehnung des — (Zuschr.). S. 454.  
 Mimosen, Über die Reizleitung der —. S. 661.  
 Minerallagerstätten, südamerikanische —. S. 231.  
 Mineralogie, Lehrbuch der — (Bespr.). S. 659.  
 Mittelgriechenland, Beiträge zur Morphologie des Peloponnes und des südlichen Mittelgriechenlands (Bespr.). S. 430.  
 Mödlinger Trinkwasser, Sonderbare Wirkung des — auf Salamanderlarven (Zuschr.). S. 46, 925.  
 Molche, Die — Deutschlands und ihre Pflege (Bespr.). S. 568.  
 Molekülverbindungen, Organische — (Bespr.). S. 910.  
 Morphologie und Morphogenese des Haarstrichs. S. 210.  
 —, Beiträge zur — des Peloponnes und des südlichen Mittelgriechenlands (Bespr.). S. 430.  
 Motorloser Flug, Über den — (Th. von Kármán). S. 121.  
 Mount-Wilson-Sternwarte, Jahresbericht der — 1921. S. 619.  
 Moving Clusters, A Research on —. S. 854.  
 Musikalische Veranlagung, Vererbung und Entwicklung der —. S. 846.  
 Muskel, quergestreifter, Hat der Sympathicus eine direkte Einwirkung auf den — (J. N. Langley). S. 829.  
**Nachkommenschaft**, Alkohol und —. S. 1058.  
 Nahrungszunahme, Volkszunahme und —. S. 894.  
 Natur, wie sehen wir die Natur und wie sieht sie sich selber? (J. v. Uexküll). S. 265, 296, 316.  
 Naturgebiet, Begriff des — in seiner Anwendung auf die politische Geographie. S. 747.  
 Naturgeschichte, Plinius und seine —. S. 308.  
 Naturgesetze, Zum Gültigkeitsbereich der — (W. Nernst). S. 489.  
 Naturwissenschaften, Geisteswissenschaften und — (Bespr.). S. 1010.  
 Nebelflecke, kosmische, Neue Forschungen über die — (J. Hopmann). S. 7.  
 Nepentheskannen, Über die Lebewelt der —. S. 660.  
 Neugeborene, Radiologische Studien über die inneren Organe des —. S. 212.  
 Neu-Guinea, Die Kunst der Steinzeit in —. S. 144.  
 New Zealand, The vegetation of — (Bespr.). S. 158.  
 Niederschläge, dichte, Untere Grenzwerte —. S. 517.  
 Nomogramm, Das — als Mittel zur Berechnung der Oberfläche des lebenden menschlichen Körpers. S. 847.  
 Nomographie, Über — (Ludwig Bieberbach). S. 775.  
 —, Die — oder Fluchtlinienkunst (Bespr.). S. 1131.  
 Nordafrika, die geographische Bedingtheit der Erscheinungen des menschlichen Lebens in —. S. 261.  
 Norddeutschland, Fröste am Erdboden in —. S. 59.  
 —, Studien an Rinnen und Sanderflächen in —. S. 695.  
 Nordmeer, Europäisches, Die seismischen Verhältnisse des — und seiner Umrandung. S. 819.  
 Nordsee, Deutsche meereskundliche Untersuchungen in der — im Sommer 1921. S. 214.  
 Nova, Die Definition einer —. S. 700.  
**Oberfläche**, s. Nomogramm. S. 847.  
 —, spiegelnde, Über die Herstellung —. S. 117.  
 Oberschwaben, Eine Kartierung — um die Wende des 16. Jahrhunderts (Bespr.). S. 873.  
 Ölfelder, Über die Sierra Perija zu den — am Rio de Oro. S. 699.  
 Oenothera Lamarckiana, Über experimentelle Erzeugung von Adventivembryonen bei —. S. 62.  
 Oenotheren, Heterogamie im weiblichen Geschlecht und Embryosackentwicklung bei den —. S. 436.  
 Okulare, Achromatische vierlinsige —. S. 334.  
 Ophthalmologische Diagnostik, Der Augenspiegel und die — (Bespr.). S. 842.  
 Optisches Glas, Die Fabrikation von —. S. 309.  
 — —, Zur Geschichte des —. S. 773.  
 — Instrument, Die Brille als — (Bespr.). S. 17.  
 — Standardwerk, Ein photographisches und — (Fritz Weigert). S. 861.  
 Organische Chemie (Bespr.). S. 161.  
 — —, Zeittafeln zur Geschichte der — (Bespr.). S. 162.  
 Ornithologische Gesellschaft, Deutsche —: Verbreitung und geographische Variation der weißen Bachstelzen. S. 58.  
 — Entwicklung der Blaurake, des Hühnerhabichts und der Schleiereule. S. 58.  
 — Gesang des wilden Kanarienvogels. S. 59.  
 — Die Flugformen der Zugvögel. S. 59.  
 — Sprungvariationen in der Gefiederfärbung einiger Vogelarten. S. 356.  
 — Paarungsweisen der Vögel. S. 356.  
 — Die Biologie der Raben. S. 534.  
 — Beiträge zur Aufsuchung kosmischer Grundlagen von Klimaperioden. S. 614.  
 — Wettergedächtnis. S. 614.  
 — Aerologische Flugzeugaufstiege in Adlershof. S. 615.  
 — Die Abhängigkeit der Gefiederfärbung von klimatischen Einflüssen. S. 1133.  
 — Die Kaiserin Auguste-Viktoria-Fluß-Expedition in den Jahren 1912/13. S. 1134.  
 — Jahresversammlung vom 13.—15. Mai 1922. S. 1112.  
 Ornithologisches Taschenbuch für Jäger und Jagdfreunde (Bespr.). S. 209.  
 Osmotische Leistung der Pflanzenzelle, Ein Schema für die —. S. 335.  
 Ostturkestan, s. Baltistan. S. 746.  
 Otolithenfunktion und Körperstellung (R. Magnus). S. 927.  
 Outbreeding, Inbreeding and —, their genetic and sociological significance (Bespr.). S. 42.  
 Ozeanographische Arbeiten der Deutschen Antarktischen Expedition. S. 353.  
 Ozeanische Zirkulation mit besonderer Berücksichtigung des Atlantischen Ozeans. S. 352.  
 Ozon, Über — (Zuschr.). S. 470.  
**Paarungsweisen der Vögel**. S. 356.  
 Paläobiologische Forschung, Die Methoden der — (Bespr.). S. 207.  
 Paläontologen, Neues zum Artbegriff der —. S. 305.  
 Paläontologie, Allgemeine — (Bespr.). S. 41.  
 Paläontologische Gesellschaft, Tagung der — in Tübingen (K. Ehrenberg). S. 925.  
 Palimpsestphotographie (G. R. Kögel). S. 940.  
 Papier, Die Messung des Glanzes von — und ähnlichen Flächen. S. 697.  
 Papiere, Graphische, — und ihre vielseitige Anwendung (Bespr.). S. 258.  
 Parallaxen, Die Reduktion der trigonometrisch beobachteten relativen — auf absolute Parallaxen. S. 1064.  
 Patagonien, Reisen in — und Peru. S. 351.  
 —, Die Wälder —. S. 262.  
 Pathologische Physiologie (Bespr.). S. 280.  
 Peas, Studies on a drained marsh soil unproductive for —. S. 893.



- Peloponnes, Beiträge zur Morphologie des — und des südlichen Mittelgriechenlands (Bespr.). S. 430.  
 Perlfischerei-Islande, Die — in der Torresstraße. S. 264.  
 Permeabilität, Über den Einfluß von Verwundungen auf die —. S. 336.  
 Peru, Reisen in Patagonien und —. S. 351.  
 Pflanzenforschung (Bespr.). S. 890.  
 Pflanzenleben des Schwarzwaldes (Bespr.). S. 888.  
 Pflanzenmangel, Über den völligen — in Wüsten. S. 700.  
 Pflanzenphysiologie (Bespr.). S. 890.  
 Pflanzenreich, Das — (Bespr.). S. 601.  
 Pflanzensoziologie, Die Grundfragen der — (Walther Wangerin). S. 574.  
 Pflanzenwelt Afrikas, insbesondere seiner tropischen Gebiete (Bespr.). S. 159.  
 Pflanzenzelle, Chemie der — (Bespr.). S. 568.  
 —, Ein Schema für die osmotische Leistung der —. S. 335.  
 Pflanzenzüchtung, Die Bedeutung der Mendelschen Gesetze für die — (E. Baur). S. 645.  
 Pfropfversuche. S. 335.  
 Phagocytose fester Teilchen. S. 212.  
 Pharmakologische Gesellschaft, die zweite Tagung der Deutschen —. S. 140.  
 Phosphat-Rohstoffe (Zuschr.). S. 350, 351.  
 Phosphoreszenz, Fluoreszenz und — im Lichte der neueren Atomtheorie (Bespr.). S. 722.  
 Photochemisches Modell der Retina. S. 236.  
 Photographische Messung der Meereswellen. S. 168.  
 Photographisches und optisches Standardwerk (Fritz Weigert). S. 861.  
 Photokatalysen in Pflanzen (Karl Boresch). S. 505.  
 Photometrie, isochrome und heterochrome, Die Stereoskopie im Dienste der — (C. Pulfrich). S. 553, 569, 596, 714, 735, 751.  
 Phycomyces nitens, Licht- und Dunkeladaptation bei —. S. 187.  
 —, Wachstumsschwankungen und hydrotropische Krümmungen bei —. S. 436.  
 Phylogenie, Die — der Getreide (Elisabeth Schiemann). S. 133.  
 Physik, Lehrbuch der — (Bespr.). S. 258, 453, 469, 943, 1084, 1130.  
 —, praktisches, Lehrbuch der — (Bespr.). S. 257.  
 Physikalisch-chemische Theorie der Reizung (P. Lasareff). S. 1123.  
 Physikalische Bedeutung der sphärischen Abweichung. S. 519.  
 — Chemie, Die Bedeutung der — für die Biologie mit besonderer Berücksichtigung von Nernsts Theoretischer Chemie (Leon Asher). S. 193.  
 —, Grundriß der — (Bespr.). S. 1083.  
 Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Die Tätigkeit der — im Jahre 1921 (Max Jakob). S. 669.  
 Physiologie, Pathologische — (Bespr.). S. 280.  
 Physiologische Chemie, Kurzes Lehrbuch der — (Bespr.). S. 1014.  
 —, Umformung von Eiweißkörpern (Albrecht Kossel). S. 999.  
 Physiologischer Eindruck, Die Entstehung des — des Glanzes (Zuschr.). S. 791, 1056.  
 Physische Gestalten, Die — in Ruhe und im stationären Zustand (Zuschr.). S. 116, 117.  
 Pigmente, Über die flächenhafte Verbreitung der — in der Haut bei Menschen und Affen. S. 603.  
 Pigmentforschung, Einiges aus der neueren — speziell über das Ergrauen der Haare. S. 437.  
 Plancksche Strahlungsformel, Die Bedeutung von Rubens Arbeiten für die — (G. Hettner). S. 1033.  
 Planeten, Die Bewegung der vier inneren — mit besonderer Berücksichtigung der Bewegung des Merkurperihels (Hans Kienle). S. 217, 246.  
 Plankton, Über das — schlesischer Talsperren. S. 774.  
 Plasma, Über die Rolle von Kern und — bei der Embryonalentwicklung (Andreas Penner). S. 727, 761.  
 Pleiaden. S. 336.  
 Plinius und seine Naturgeschichte. S. 308.  
 Polarfronttheorie, Über die — nach Bjerknes und die neueren Anschauungen von den atmosphärischen Vorgängen (Erich Kuhlbrodt). S. 495.  
 Pollenkörner mit vermehrter Kernzahl. S. 950.  
 Polymorphismus, Über den — und die optische Kühlung des Glases. S. 310.  
 Prähistorische Daten: Ein Kalender über 30 000 Jahre. S. 535.  
 Psychiatrie, Serologie und — (F. Plaut). S. 605.  
 Psychologie, Der Gegenstand der — (Bespr.). S. 303.  
 Pueblo Bonito, Die Ausgrabung des —. S. 1136.  
 Puerto Rico, Lehren der Volkszählung in —. S. 262.  
 Pyrometrische Messungen der Himmelselligkeit. S. 186.  
 Quantelung, räumliche, Die Möglichkeit der — von angeregten Wasserstoffatomen im Magnetfeld (Zuschr.). S. 791.  
 Quantentheorie, Fortschritte der — (Bespr.). S. 845.  
 —, Rubens und die — (J. Franck und R. Pohl). S. 1030.  
 — des Sehens. S. 211.  
 Quarz, Kohle und —. s. Phagocytose. S. 212.  
 Quecksilberdampf, Die Entdeckung der langwelligen Strahlung des — durch Rubens (O. v. Baeyer). S. 1027.  
 Quecksilberverbindungen, die biochemische Bedeutung der organischen — (W. Schoeller). S. 1071.  
 Raben, Biologie der —. S. 534.  
 Race, The Evolution and Distribution of — Culture and Language. S. 894.  
 Radiation, Gravity and pressure of —. S. 64.  
 Radiologische Studien über die inneren Organe des Neugeborenen. S. 212.  
 Rana temporaria, Einwirkung von Überreife auf die Eier von —. S. 1059.  
 Rassen- und Artbildung (Bespr.). S. 56.  
 — — Gesellschaftsbiologie. S. 893.  
 Raum, leerer, Über die sogenannte Empfindung des —. S. 213.  
 Raumerfüllung und Ionenbeweglichkeit (Bespr.). S. 468.  
 Raupen, Grenze der Widerstandsfähigkeit gegen Kälte bei den — von Cossus cossus. S. 847.  
 Rebschädlinge und ihre neuzeitliche Bekämpfung (Bespr.). S. 845.  
 Rechts- und linksäugige Eindrücke, Wie wir — unterscheiden (H. Köllner). S. 512.  
 Refraktion, Marksteine in der Lehre von der —. S. 697.  
 Regenwaldgebiet, Das Afrikanische —. S. 355.  
 Regenwurm, Über die Bildung einer Assoziation beim — auf Grund von Dressurversuchen. S. 603.  
 Reinkulturen, Die Anwendung von — der Mikroorganismen in Industrie und Landwirtschaft (Otto Rahn). S. 241.  
 Reisernte, Die Vorhersage der — in Nord-Japan (K. Knoch). S. 993.  
 Reiz und Reizbarkeit. Ihre Bedeutung für die praktische Medizin. S. 551.  
 Reizleitung der Mimosen, Über die —. S. 661.

- Reizleitungsvorgänge, Phototropische — bei Unterbrechung des organischen Zusammenhanges. S. 949.
- Reizung, Die physikalisch-chemische Theorie der — (P. Lasareff). S. 1123.
- Relativitätsprinzip, Das — (Bespr.). S. 947.
- Relativitätstheorie (Bespr.). S. 184, 185.
- und Erkenntnis a priori (Bespr.). S. 873.
- , Die Idee der — (Bespr.). S. 185.
- , Vier Vorlesungen über — (Bespr.). S. 946.
- Resonanztheorie, Die — des Hörens (E. Waetzmann). S. 542.
- Resultantengesetz, Über das — beim Haptotropismus. S. 874.
- Retina, Ein photochemisches Modell der —. S. 236.
- Riffkorallen im Nordmeer einst und jetzt (Hjalmar Broch). S. 804.
- Rinnen, Studien an — und Sanderflächen in Norddeutschland. S. 695.
- Röntgenkristallographische Untersuchungen an Eisen und Stahl. S. 484.
- Röntgenlicht, Prüfung von Metallgegenständen mit Hilfe von —. S. 311.
- Röntgenographische Bestimmung von Kristallanordnungen (M. Polanyi). S. 411.
- Feinbaustudien (Bespr.). S. 18.
- Röntgenspektren und chemische Valenz (Gregor Wentzel). S. 464, 614.
- Röntgenspektroskopie, Bericht über neuere Ergebnisse der — (Gregor Wentzel). S. 369.
- , Zehn Jahre — (Paul Knipping). S. 366.
- Röntgenstrahlen, Die physikalischen und technischen Grundlagen der Messung und Dosierung der — (Bespr.). S. 659.
- Röntgenstrahlenerzeugung, Eine neue Methode der —. S. 166.
- Röntgenstrahlinterferenzen, Die Geschichte der Aufindung der — (W. Friedrich). S. 363.
- Rotverschiebung, St. Johns und Babcocks Beobachtungen über die — der Spektrallinien auf der Sonne (Zuschr.). S. 330.
- Rubens, Heinrich (W. M. Westphal). S. 1017.
- und die Experimentierkunst (E. Regener). S. 1021.
- und die Maxwell'sche Theorie (G. Hertz). S. 1024.
- , Die Entdeckung der langwelligen Strahlung des Quecksilberdampfes durch Rubens (O. v. Baeyer). S. 1027.
- und die Quantentheorie (J. Franck und R. Pohl). S. 1030.
- , Die Bedeutung von Rubens Arbeiten für die Plancksche Strahlungsformel (G. Hettner). S. 1033.
- , Verzeichnis der von Rubens veröffentlichten Arbeiten (G. Hettner). S. 1038.
- Rubidium in der Sonnenatmosphäre. S. 240.
- Ruheorgane bei Wasserpflanzen und Lebermoosen. S. 875.
- Russell-Diagramm. S. 878.
- Russische Republik, Die neue Gebietseinteilung der —. S. 814.
- Rußland, Hydrographische und hydrobiologische Arbeiten in —. S. 308.
- Säugetiere, Neuere Arbeiten über die Färbung der — (Felix Pinkus). S. 951.
- Salamanderlarven, Sonderbare Wirkungen des Mödlinger Trinkwassers auf — (Zuschr.). S. 46, 925.
- Salzlager, südaustralische, Über den Ursprung der —. S. 700.
- Sanderflächen, Studien an Rinnen und — in Norddeutschland. S. 695.
- Sauerstoff (Torsten Thunberg). s. Genetischer Zusammenhang. S. 417.
- Schallortung. S. 167.
- Schallquellen, Über die Lokalisation von — (H. Hecht). S. 107. — (Zuschr.). S. 329, 330.
- Schizophyceen, Die wasserlöslichen Farbstoffe der —. S. 435.
- Schleiereule, Entwicklung der —. S. 58.
- Schleswig-Holstein, Subfossile Eibenreste in —. S. 876.
- Schmarotzer, Die Tachinen als — der schädlichen Insekten (Bespr.). S. 56.
- Schmiedeberg, Oswald — (Hans H. Meyer). S. 105.
- Schneelandschaftsphänomen, Das sogenannte —. S. 697.
- Schwarzwald, Das Pflanzenleben des — (Bespr.). S. 888.
- Schweinfurth, Georg — Forschungen über die Geschichte der Kulturpflanzen (H. Harms). S. 1113.
- Schweißen von Eisen mit Hilfe von Kupfer. S. 311.
- Schweizer Käse, s. Lochbildung. S. 211.
- Schwerereiz, Über den Einfluß des — auf das Wachstum der Koleoptile von *Avena sativa*. S. 891.
- Schutzeinrichtung, Ist das Hängen der Blüten eine —? S. 875.
- Secchischer Typus, Die Sterne vom 4. —. S. 288.
- Seelenleben, Vom — gefangener Vögel (Fritz Braun). S. 833.
- Segelflug, Über den — (C. Runge). S. 879, 1111.
- , von Kármáns Erklärungen des —. (Zuschr.). S. 432.
- , Gustav Lilienthals Erklärung des —. (Zuschr.). S. 432.
- Sehen, Teilweiser Verlust des ererblichen — nach dem Entschädigungsgesetz im Staate New York. S. 696.
- , Eine Quantentheorie des —. S. 211.
- Sehrohre, Einiges über —. S. 331.
- , Der Strahlengang in — mit einem Umkehrsystem aus zwei getrennten Linsen. S. 333.
- Seigerungserscheinungen bei Legierungen. S. 817.
- Seismische Verhältnisse des Europäischen Nordmeeres und seiner Umrandung. S. 819.
- Selen, Zur Kenntnis des — (Wilhelm Späth). S. 14.
- Selenka, Emil, Ein Gedenkblatt zur achtzigsten Wiederkehr seines Geburtstages am 27. Februar (W. Lubosch). S. 179.
- Sequoia sempervirens, s. Taxodium distichum. S. 894.
- Serodiagnostische Untersuchungen über die Verwandtschaften innerhalb des Centrospermenastes des Pflanzenreichs. S. 950.
- Serologie und Psychiatrie (F. Plaut). S. 605.
- Sichtproblem. S. 517.
- Sierra Perija, Über die — zu den Ölfeldern am Rio de Oro. S. 699.
- Silikatgesteine, Über die metasomatischen Prozesse in — (V. M. Goldschmidt). S. 145.
- Silumin. S. 618.
- Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften. S. 188.
- Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien. S. 792.
- Skelettprobleme (H. Petersen). S. 337.
- Solkonstanten, Sonnenflecken, Sonnentätigkeit. S. 877.
- Sommer, Der heiße — 1921. S. 60.
- Sonne, Zum allgemeinen Magnetfeld der —. (Zuschrift). S. 57.



- Sonne, St. Johns und Babcocks Beobachtungen über die Rotverschiebung der Spektrallinien auf der — (Zuschr.). S. 330.
- Sonnenatmosphäre, s. Ionisation. S. 877.
- , Rubidium in der —. S. 240.
- Sonnenflecken. S. 877.
- , s. Ionisation. S. 877.
- Sonnentätigkeit. S. 877.
- Spanischer Nationalcharakter, Der — in seinen Beziehungen zum Wirtschaftsleben. S. 583.
- Spektralklasse A, Das lokale System und die Sterne der —. S. 471.
- Spektralklassen, Die relative Häufigkeit der —. S. 877.
- Spektrallinien, St. Johns und Babcocks Beobachtungen über die Rotverschiebung der — auf der Sonne (Zuschr.). S. 330.
- Spektraltypus, Absolute Helligkeit und — (Russell-Diagramm). S. 878.
- , Die periodische Veränderlichkeit des — bei  $\delta$ -Cephei-Veränderlichen. S. 487.
- Spektren, Drei Aufsätze über — und Atombau (Bespr.). S. 844.
- Sphärische Abweichung, Die physikalische Bedeutung der —. S. 519.
- Spiegelauxanometer für Keimwurzeln. S. 335.
- Spiegelnde Oberflächen, Über die Herstellung —. S. 117.
- Spiralnebel, Die innere Bewegung bei den —. S. 820.
- Spirillum, Entwicklungsgeschichte der Gattungen Chromatium und —. S. 187.
- Spirochätose, Untersuchungen über die spontane — des Kaninchens. S. 456.
- Spitzenstrom, Der positive —. S. 163.
- Staatenbildungen, Neue — in Vorderasien. S. 353.
- Stahl, Der Damascener —. S. 166.
- , Röntgenkristallographische Untersuchungen an Eisen und —. S. 484.
- , Der Kruppsche nichtrostende — V 2 A. S. 166.
- Starsystem, The local —. S. 120.
- Statistik, mathematische, Vorlesungen über die Grundzüge der — (Bespr.). S. 690.
- Stazione idrobiologica del Trasimeno (Zuschr.). S. 925.
- Steinzeit, Die Kunst der — in Neu-Guinea. S. 144.
- Stellar Statistics, Introduction to —. S. 584.
- Stereoskopie, Die — im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie (C. Pulfrich). S. 553, 569, 596, 714, 735, 751.
- Sterne, s. Entfernung. S. 822.
- , Über die Beziehungen zwischen den Farben, den Temperaturen und den Durchmessern der —. S. 216.
- , Die Massen und Dichten der —. S. 1085.
- verschiedener Masse, Über die Häufigkeit des Vorkommens von —. S. 1087.
- Sternhaufen, kugelförmige, Der Abstand des — M 5. S. 439.
- , —, Die Entfernung der —. S. 552.
- Sternsystem, Die räumliche Dichteverteilung im — (Hans Kienle). S. 679.
- Stickstoff (Fritz Haber), s. Ammoniak. S. 1041.
- Stimulierung (Hebung) der Zellfunktionen und ihre landwirtschaftliche Bedeutung. S. 1128.
- $\gamma$ -Strahlen, Über die Wellenlänge der — (Lise Meitner). S. 381.
- Strahlengang in Sehrohren mit einem Umkehrsystem aus zwei getrennten Linsen. S. 333.
- Strahlenpilze, Morphologie und Biologie der — (Aktinomyceten) (Bespr.). S. 55.
- Strahlungsformel, Die Bedeutung von Rubens Arbeiten für die Plancksche — (G. Hettner). S. 1033.
- Strahlungsgesetz, Plancksches — (Konstanten). S. 22.
- Stratigraphie, Allgemeine Geologie und — (Bespr.). S. 659.
- Subfossile Eibenreste in Schleswig-Holstein. S. 876.
- Südafrika, Neue Funde fossiler Menschenreste in — und Australien (O. Abel). S. 313.
- Südamerikanische Minerallagerstätten. S. 231.
- Südaustralische Salzlager, Über den Ursprung der —. S. 700.
- Südmolukken, Forschungsreise nach den —. S. 748.
- Südwestafrika, Bau und Bild von —. S. 745.
- Das Leben der Wüste in —. S. 582.
- Süßkraft, Die — der künstlichen Süßstoffe (Friedrich Auerbach). S. 710.
- Süßstoffe, künstliche, Die Süßkraft der — (Friedrich Auerbach). S. 710.
- Symbiose, Haemophagie und — (Paul Buchner). S. 703.
- und Artproblem bei Hydra (Wilhelm Goetsch). S. 867.
- intrazelluläre, Tier und Pflanze in — (Bespr.). S. 280.
- Sympathicus, Hat der — eine direkte Einwirkung auf den quergestreiften Muskel? (J. N. Langley). S. 829.
- Tachinen, Die — als Schmarotzer der schädlichen Insekten (Bespr.). S. 56.
- Talsperren, schlesische, Über das Plankton —. S. 774.
- Taxodium distichum, Ist — oder Sequoia sempervirens Charakterbaum der deutschen Braunkohle? S. 894.
- Technik, Die Aerodynamische Versuchsanstalt und ihre Bedeutung für die — (L. Prandtl). S. 169.
- Technische Mechanik (Bespr.). S. 810.
- Telegraphie und Telephonie, Die drahtlose — (Bespr.). S. 813.
- — — Handbuch der drahtlosen — (Bespr.). S. 19.
- Einführung in die moderne drahtlose — und ihre praktische Verwendung (Bespr.). S. 230.
- , drahtlose, Atmosphärische Einflüsse auf die —. S. 1111.
- Temperatur, Über den Einfluß der — auf die Absorption langwalliger Wärmestrahlen in einigen festen Isolatoren (Zuschr.). S. 1057.
- Theoretische Chemie (Leon Asher), s. Physikalische Chemie. S. 193.
- Tiefenmessung, Akustische —. S. 359.
- Tiefenwahrnehmung, Über die durch das doppel- äugige Sehen bewirkte Vergrößerung und ihre Rolle bei der —. S. 456.
- Tierwelt, Lebensbilder aus der — der Vorzeit (Bespr.). S. 601.
- Tierzucht, Mendelismus und — (Hans Nachtsheim). S. 635.
- Tintenfische, Die fossilen — (Bespr.). S. 790.
- Tod, Lebensdauer, Altern — (Bespr.). S. 281.
- Torf, Die Entstehung des — und der Kohle (Hans Höfer von Heimhalt). S. 113.
- Torresstraße, Die Perlfischereieilande in der —. S. 264.
- Totenstarre, Die — (Ernst Mangold). S. 895.
- Trachom, Unsere Kenntnis vom experimentellen —. S. 695.
- Trägheitssystem, Die astronomische Festlegung des — (Julius Bauschinger). S. 1006.
- Trinkwasser, Sonderbare Wirkungen des Mödlinger — auf Salamanderlarven (Zuschr.). S. 46, 925.

- Überpflanzungen** von Organen (Otto Kestner). S. 592.
- Überreife**, Die Einwirkung von — auf die Eier von *Rana temporaria*. S. 1059.
- Übertragbarkeit**, Über humorale — der Herznervenzirkung (O. Loewi). S. 52.
- Universum**, Der Maßstab des —. S. 520.
- Unterwasserschalltechnik** (Bespr.). S. 844.
- Utriculariablase**, Biologische Studien über die —. S. 876.
- Valenz**, Chemische, Röntgenspektren und — (Gregor Wentzel). S. 464.
- Vegetation**, The — of New Zealand (Bespr.). S. 158.
- Velamen**, Erdwurzeln mit —. S. 875.
- Vererbung**, Über die Artbastarde und die — ihrer Kennzeichen. S. 723.
- Versuche über die — der Augenfarbe beim Menschen. S. 877.
- Die Grenzen der Mendelschen —. S. 455.
- Vererbungslehre**, Allgemeine — (Bespr.). S. 254.
- Vererbungsversuche** mit buntblättrigen Sippen. S. 63.
- Vergrößerung**, Über die durch das doppel längige Sehen bewirkte — und ihre Rolle bei der Tiefenwahrnehmung. S. 456.
- Verkupferung** des Auges. S. 696.
- Versuchsanstalt**, Die aerodynamische — und ihre Bedeutung für die Technik (L. Prandtl). S. 169.
- Verwundungen**, Über den Einfluß von — auf die Permeabilität. S. 336.
- Viehzucht**, Die — auf der südlichen Halbkugel. S. 47.
- Vitalität** der amerikanischen Völker. S. 847.
- Vögel**, gefangene, Vom Seelenleben — (Fritz Braun). S. 833.
- Vogelfangstation**, Die wissenschaftliche — im Biologischen Versuchsgarten zu Helgoland (Hugo Weigold). S. 960.
- Vogelflug**, Der — als anatomisch-physiologisches Problem (Franz Groebels). S. 988.
- Vogelzug**, Die Rätsel des — (Bespr.). S. 159.
- Vorläufige Bemerkungen zu: Friedrich von Lucanus' Die Rätsel des — (Fritz Braun). S. 565.
- Volkszählung**, Lehren der — in Puerto Rico. S. 262.
- in Kolumbien. 1136.
- Volkszunahme** und Nahrungszunahme. S. 894.
- Vorderasien**, Neue Staatenbildungen in —. S. 353.
- Vorzeit**, Lebensbilder aus der Tierwelt der — (Bespr.). S. 601.
- Wachstum**, s. Schwerereiz. S. 891.
- Wachstumsschwankungen** und hydrotropische Krümmungen bei *Phycomyces nitens*. S. 436.
- Wälder** Patagoniens. S. 262.
- Formosas. S. 1135.
- Wärmephänomen**, Zum — der Araceenblütenstände. S. 949.
- Wärmestrahlen**, langwellige (Zuschr.), s. Temperatur. S. 1057.
- Wärmestrahlung**, Vorlesungen über die Theorie der — (Bespr.). S. 257.
- Warburg**, Emil — als Forscher (Albert Einstein). S. 823.
- Wasser**, Über den Gasgehalt des — im Hemmelsdorfer See bei Lübeck. S. 307.
- Wasserhaushalt**, Über die Regulation des — im Tierkörper und die Durstempfindung (C. Oehme). S. 154.
- Wasserpflanzen**, Ruheorgane bei — und Lebermoosen. S. 875.
- Wasserstoffatom** (Zuschr.), s. Quantelung. S. 791.
- Wasserstoffmolekel**, Über das Modell der — (Zuschr.). S. 677.
- Wasserstoffmolekülmodell**, Über das — (Zuschr.). S. 533, 947.
- Wasserwirtschaft**, Grundlagen der — (Bespr.). S. 208.
- Wave-Length**, The — in astronomical Interferometer Measurements. S. 725.
- An Investigation of the Constancy in — of the Atmospheric and Solar Lines. S. 726.
- Weather**, The study of the — (Bespr.). S. 658.
- Weißbrandpanaschierung**, Die — von *Acer negundo*. S. 61.
- Wellenlänge**, Über die — der  $\gamma$ -Strahlen (Lise Meitner). S. 381.
- Welt**, unendliche, C. V. L. Charliers Untersuchungen über den Aufbau einer — (W. E. Bernheimer). S. 481.
- Weltanschauungen**, Psychologie der — (Bespr.). S. 874.
- Welteislehre**, Bemerkungen zu Preys Kritik über Hönbigers — (Zuschr.). S. 995.
- Weltmeer**, Die Tiefen des —. S. 20.
- Werkstoffe** (Bespr.). S. 160, 813.
- Wetter**, Von dem Einfluß des — auf den Gesang der Vögel. S. 286.
- Wettergedächtnis**. S. 614.
- Widerstandsfähigkeit**, Grenze der — gegen Kälte bei den Raupen von *Cossus cossus*. S. 847.
- Wirkungsquantum**, Plancks elementares — und die Methoden zu seiner Messung (Bespr.). S. 18.
- Wirtschaftsleben**, Der spanische Nationalcharakter in seinen Beziehungen zum —. S. 583.
- Wünschelrutenfrage**. S. 233.
- Wüste**, Das Leben der — in Südwestafrika. S. 582.
- Über den völligen Pflanzenmangel in —. S. 700.
- Wüstenausdehnung**, Dürren und Abwehrmaßnahmen. S. 615.
- Zahlen- und Gewichtsverhältnisse** bei einigen heterostylen Pflanzen. S. 61.
- Zahnärztliche Versorgung** des deutschen Volkes. S. 309.
- Zeichenkunst**, Die — im Dienst der beschreibenden Naturwissenschaften (Bespr.). S. 676.
- Zellbildung**, Die Bedeutung der Gefäßwandzellen für die —. S. 1132.
- Zellen**, lebende, die Biochemie und Physiologie der Grenzschichten —. S. 948.
- Zellentartung** und Entwicklungsbeschleunigung (Zuschr.). S. 773.
- Zellfunktionen**, Die Stimulierung (Hebung) der — und ihre landwirtschaftliche Bedeutung. 1128.
- Zellkerne**, Über die neuen Methoden S. Bechers zur Echtfärbung der — mit künstlichen Beizenfarbstoffen (Benno Romeis). S. 733.
- Zellmembranen**, pflanzliche, Rhythmische Fällungserscheinungen in —. S. 436.
- Zellsymbiose**, Hydra und Alge in neuer — (W. Goetsch). S. 202.
- Zugvögel**, Die Flugformen der —. S. 59.
- Zwang**, Drang und —, eine höhere Festigkeitslehre für Ingenieure (Bespr.). S. 228.
- Zweig-Laboratorium**, Über die Errichtung eines — der Biologischen Anstalt in List auf Sylt (Zuschr.). S. 284.
- Zwergbäume**, Erziehung der — (P. Grabner). S. 181.
- Zymase- und Karboxylasewirkung**. S. 892.



Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

**Physiologisches Praktikum.** Chemische, physikalisch-chemische, physikalische und physiologische Methoden. Von Professor Dr. Emil Abderhalden, Geheimer Medizinalrat, Direktor des Physiologischen Instituts der Universität zu Halle a. S. Dritte, neubearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 310 Textabbildungen. 1922. G. Z. 11.

**Die Abderhaldensche Reaktion.** Ein Beitrag zur Kenntnis von Substraten mit zellspezifischem Bau und der auf diese eingestellten Fermente und zur Methodik des Nachweises von auf Proteine und ihre Abkömmlinge zusammengesetzter Natur eingestellten Fermenten. Von Professor Dr. med. et. phil. h. c. Emil Abderhalden, Direktor des Physiologischen Instituts der Universität Halle a. S. (Fünfte Auflage der „Abwehrfermente“.) Mit 80 Textabbildungen und 1 Tafel. 1922. G. Z. 11.

**Die Variabilität niederer Organismen.** Eine deszendenztheoretische Studie. Von Dr. Hans Pringsheim. 1910. G. Z. 7.

**Die Reizbewegungen der Pflanzen.** Von Dr. Ernst G. Pringsheim, Privatdozent an der Universität Halle. Mit 96 Abbildungen. 1912. G. Z. 12.

**Der Begriff der Genese in Physik, Biologie und Entwicklungsgeschichte.** Eine Untersuchung zur vergleichenden Wissenschaftslehre. Von Dr. Kurt Lewin. Mit 45 zum Teil farbigen Textabbildungen. 1922. G. Z. 8.

**Einführung in die physikalische Chemie.** Für Biochemiker, Pharmazeuten und Naturwissenschaftler. Von Dr. Walter Dietrich. Zweite Auflage. Mit etwa 6 Abbildungen. In Vorbereitung.

*Die Grundzahlen (G. Z.) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.*

## Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

**Die Krankheiten des Herzens und der Gefäße.** Ein kurzgefaßtes praktisches Lehrbuch. Von Dr. **Heinrich Hochhaus** †, Geh. Med.-Rat, Professor an der Akademie für praktische Medizin, Direktor des Augusta-Krankenhauses, Köln. Bearbeitet und herausgegeben von Dr. **G. Liebermeister**, leitender Arzt der inneren Abteilung des städtischen Krankenhauses Düren. Mit 72 Textabbildungen. 1922. G.Z. 8; gebunden G.Z. 10

**Klinische Herzdiagnostik.** Von Dr. **P. Schrumpf**. Mit einem Vorwort von Geh. Med.-Rat Prof. Dr. Goldscheider. Mit 185 Textabbildungen. 1919. G.Z. 7

**Die Wirkung natürlicher und künstlicher Kohlensäurebäder sowie der Hochfrequenzbehandlung bei Herzkranken.** Kontrolliert durch die „plethysmographische Arbeitskurve“. Von **E. Weber**, Professor an der Universität Berlin. Mit 47 Textabbildungen. (Sonderdruck aus „Zeitschrift für die gesamte experimentelle Medizin“. Bd. VIII.) 1919. G.Z. 2,4

**Der Sekundenherztod mit besonderer Berücksichtigung des Herzkammerflimmerns.** Von Professor Dr. **H. E. Hering**, Geh. Med.-Rat, Direktor des Pathologisch-Physiologischen Institutes der Akademie für praktische Medizin in Köln. Mit 3 Textfiguren. 1917. G.Z. 4,4

**Erfahrungen über Diagnostik und Klinik der Herzklappenfehler.** Von Professor Dr. **S. E. Henschen**, ehem. Direktor der medizinischen Universitätsklinik in Upsala und der medizinischen Klinik in Stockholm. Mit 271 Kurven. 1916. G.Z. 14; gebunden G.Z. 16

**Physikalische Behandlung der chronischen Herzkrankheiten.** Von Professor Dr. **Th. Schott**, Nauheim. Mit 42 Textfiguren und 11 Tafeln. 1916. G.Z. 3,6; gebunden G.Z. 4,6

**Das Reizleitungssystem im Herzen.** Von Professor Dr. **Franz Külbs**, Privatdozent, Assistenzarzt der I. medizin. Klinik der Charité zu Berlin. Mit 12 Textabbildungen. 1913. G.Z. 2

## Verlag von J. F. Bergmann in München

**Lehrbuch der funktionellen Diagnostik und Therapie der Erkrankungen des Herzens und der Gefäße.** Von Dr. **August Hoffmann**, Professor an der Akademie für praktische Medizin und Direktor der inneren Klinik in Düsseldorf. Mit 169 Abbildungen und 1 farbigen Tafel. Zweite, gänzlich umgearbeitete Auflage. 1920. G.Z. 20; gebunden G.Z. 22

**Lehrbuch der Herzkrankheiten.** Von Dr. **R. Geigel**, Professor an der Universität Würzburg. Mit 60 Figuren. 1920. G.Z. 11

**Krankheiten des Herzens und der Gefäße.** Für die Praxis bearbeitet Von Dr. **O. Burwinkel**. 1920. G.Z. 4; gebunden G.Z. 5

**Die Elektrographie als Untersuchungsmethode des Herzens und ihre Ergebnisse,** insbesondere für die Lehre von den Herzunregelmäßigkeiten. Von Prof. Dr. **August Hoffmann**. Mit 293 Textabbildungen und 3 Tafeln. 1914. G.Z. 14

*Die Grundzahlen (GZ) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Ueber den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.*



























